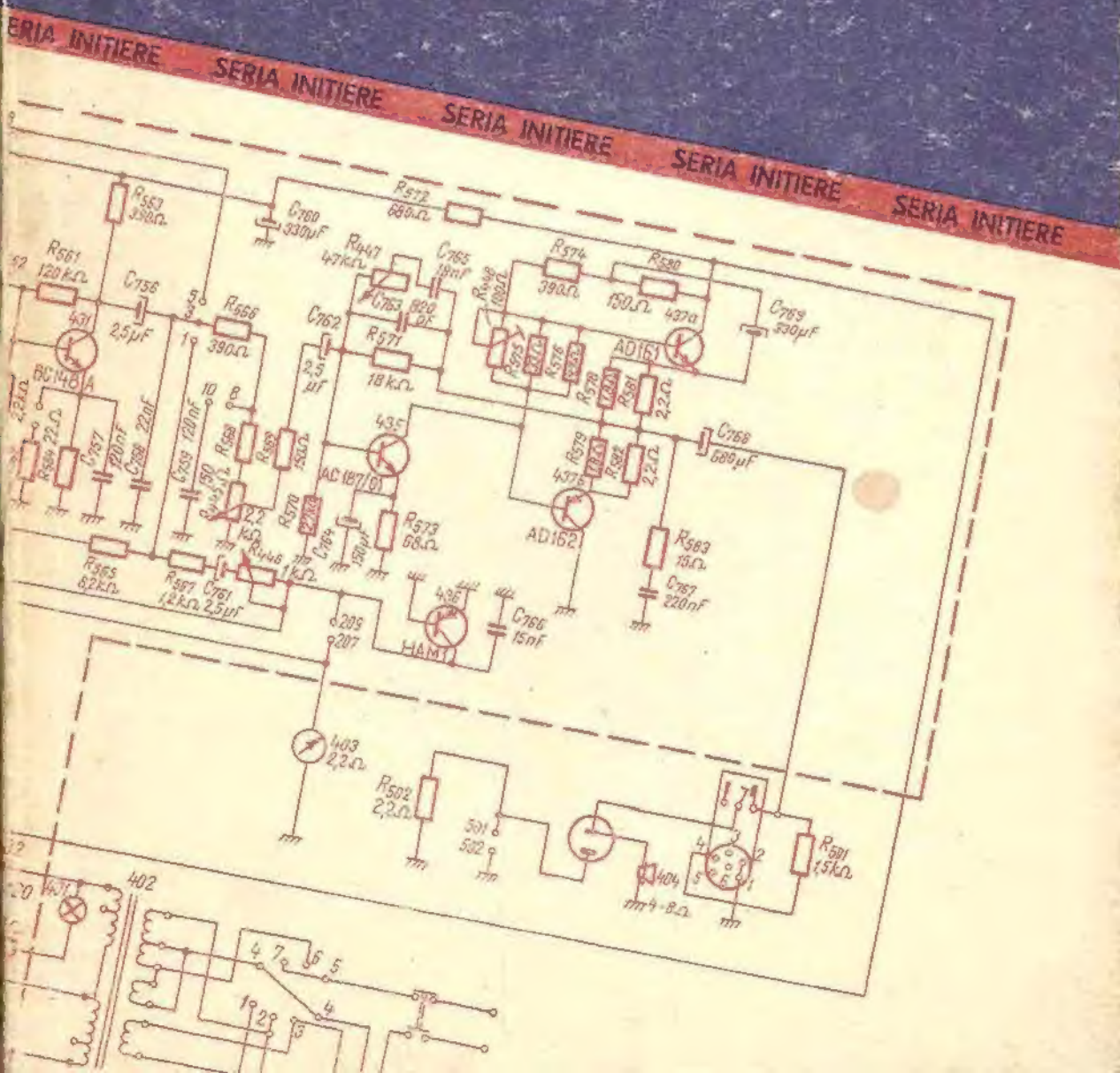


NICOLAE DRĂGULĂNESCU
CONSTANTIN MIROIU
DOINA MORARU

ABC

Electronica în imagini Componente pasive



BIBLIOTECA DE

Automatică—Informatică—Electronică—Management

SERIA ÎNȚIERE

- E. VASILIU
ÎNȚIERE ÎN DISPOZITIVELE SEMICONDUCTOARE
- D. STANOMIR
ÎNȚIERE ÎN ELECTROACUSTICA
- W. TRUSZ
ABC-UL REPARĂRII RADIORECEPTOARELOR
Traducere din lb. polonă (Ciclu ABC-uri)
- A. POPA
ABC DE PROTECȚIA MUNCII (ciclu ABC-uri)
- MARGARETA DRĂGHICI
ÎNȚIERE ÎN COBOL
- STELIAN NICULESCU
ÎNȚIERE ÎN FORTRAN
- PAUL CONSTANTINESCU ȘI ZAHARIA NICOLAE
ÎNȚIERE ÎN ORGANIZAREA ȘI PROIECTAREA SISTEMELOR DE CONDUCERE
- I. V. DUMITRESCU ș.a.
ÎNȚIERE ÎN TELEPRELUCRAREA DATELOR
- I. CRETU
ÎNȚIERE ÎN ESTETICA PRODUSELOR (Ciclu ABC-uri)
- E. AISBERG
ABC DE RADIO ȘI TELEZIUNE
Traducere din limba franceză
- J. D. WARNIER, B. MI PLANAGAN
ÎNȚIERE ÎN PROGRAMARE
Traducere din limba franceză
- I. H. BERNHARD, R. KNUPPERTZ
ÎNȚIERE ÎN TIRISTOARE
Traducere din limba germană
- W. DEPPEERT, K. STOLL
ÎNȚIERE ÎN PNEUMOAUTOMATICA
Traducere din limba germană
- E. VASILIU
ÎNȚIERE ÎN RADIOELECTRONICA CUANTICĂ
- V. POPESCU
ÎNȚIERE ÎN PROGRAMAREA ÎN CALCULATOARELE NUMERICE
- ȘT. BIRLEA
ÎNȚIERE ÎN CIBERNETICA SISTEMELOR INDUSTRIALE
- A. CARABULEA
ÎNȚIERE ÎN INGINERIA SISTEMELOR INDUSTRIALE
- I. PAPADACHE
AUTOMATIZARI INDUSTRIALE, ÎNȚIERE, APLICAȚII
- ȘT. NICULESCU
FORTRAN. ÎNȚIERE ÎN PROGRAMARE STRUCTURATĂ
- J. FORRESTER
PRINCIPIILE SISTEMELOR: TEORIE ȘI AUTOÎNȚIERE
PROGRAMATĂ
Traducere din lb. engleză S.U.A.
- P. DRANSFIELD, D. F. HABER
ÎNȚIERE ÎN PROGRAMAREA ÎN METODA LOCULUI RADACINILOR
- R. BĂRSAN
DISPOZITIVE ȘI CIRCUITE INTEGRATE CU TRANSFER DE SARCINĂ
- D. RODDY
ÎNȚIERE ÎN MICROELECTRONICA
Traducere din lb. engleză
- NICULESCU CL., IOSIF M.
ÎNȚIERE ÎN COMUNICAȚIILE PRIN FIBRE OPTICE
- CSABAI DANIEL
TEHNICA SONORIZĂRII (traducere din lb. maghiară)
- MITROFAN GH., PFLANZER G.
ÎNȚIERE ÎN TELEZIUNEA ÎN CULORI
- RADU NEGOESCU
ÎNȚIERE ÎN ELECTRONICA BIOMEDICALĂ
- RADU NEGOESCU
INSTRUMENTAȚIA ELECTRONICĂ BIOMEDICALĂ

ing. Nicolae Drăgulănescu dr. ing. Constantin Miroiu
ing. Doina Moraru

A, B, C...

ELECTRONICA ÎN IMAGINI

COMPONENTE PASIVE



Editura Tehnică
București — 1990

Contribuția autorilor la elaborarea
lucrării:

ing. N. **Drăgulănescu** — cap. 3, 4 (parțial)

ing. C. **Miroiu** — cap. 1, 2, 3, 4 (parțial)

ing. D. **Moraru** — cap. 1, 2 (parțial), 5, 6

Redactor: ing. **Bogdan Zotta**
Tehnoredactor: **Dumitru Gheorghe**
Coperta: **Simona Dumitrescu**

Bun de tipar: 3.11.1989. Coli de tipar: 9.
C.Z. 621.38.

Tiparul executat sub com. 88/1989,
la Întreprinderea Poligrafică „Crisana”,
Oradea, str. Leontin Sălajan, nr. 105.
România



ISBN 973-31-0103-6

INTRODUCERE

Imaginea constituie un important și eficient mijloc de comunicare al cărui rol informativ-formativ devine cu atât mai pregnant cu cât conținutul ei este mai reprezentativ, mai relevant și mai inteligibil.

Seria de lucrări ELECTRONICA ÎN IMAGINI își propune să prezinte în mod sintetic și actualizat — sub forma unor imagini sugestive, succint comentate — principalele aspecte implicate de structura, funcționarea, realizarea și utilizarea componentelor, circuitelor și echipamentelor electronice.

Conținutul lucrărilor se structurează astfel:

- componente pasive (rezistoare, condensatoare, bobine, cablaje imprimate)*
- componente active semiconductoare (diode, tranzistoare, tiristoare, dispozitive optoelectronice)*
- circuite electronice fundamentale*
- circuite integrate*
- echipamente de radio și televiziune*
- echipamente pentru înregistrarea/redarea sunetului și/sau imaginii*
- echipamente electronice pentru tehnica de calcul*
- echipamente electronice pentru automatizări*

Volumele din această serie se adresează tuturor electroniștilor profesioniști și amatori — muncitori, tehnicieni, ingineri, cadre didactice, studenți, elevi etc. — care doresc să-și sistematizeze și actualizeze cunoștințele de specialitate. Ele pot fi utile și celor care intenționează să se inițieze și să se formeze în domeniile mai sus menționate.

Mulțumim Editurii Tehnice pentru receptivitatea și sprijinul acordat în publicarea acestei serii de lucrări.

AUTORII

CUPRINS

| | |
|---|-----|
| INTRODUCERE | 5 |
| 1. REZISTOARE | 7 |
| 1.1. Clasificarea rezistoarelor | 7 |
| 1.2. Parametrii rezistoarelor | 9 |
| 1.3. Simbolizarea și marcarea rezistoarelor | 11 |
| 1.4. Rezistoare fixe | 15 |
| 1.4.1. Rezistoare peliculare | 15 |
| 1.4.2. Rezistoare bobinate | 20 |
| 1.4.3. Rezistoare de volum | 22 |
| 1.5. Conectarea în serie, paralel și mixtă a rezistoarelor | 23 |
| 1.6. Comportarea în curent alternativ a rezistorului | 25 |
| 1.7. Aplicații ale rezistoarelor fixe | 29 |
| 1.8. Rezistoare variabile și semivariabile | 31 |
| 1.9. Rezistoare neliniare | 34 |
| 2. CONDENSATOARE | 41 |
| 2.1. Capacitatea unui condensator; clasificarea condensatoarelor | 41 |
| 2.2. Parametrii condensatoarelor | 45 |
| 2.3. Simbolizarea și marcarea condensatoarelor | 47 |
| 2.4. Condensatoare fixe | 50 |
| 2.4.1. Condensatoare ceramice | 50 |
| 2.4.2. Condensatoare cu hirtie | 53 |
| 2.4.3. Condensatoare cu peliculă de material plastic | 57 |
| 2.4.4. Condensatoare cu mică | 60 |
| 2.4.5. Condensatoare electrolitice | 60 |
| 2.5. Condensatoare variabile și semivariabile | 65 |
| 2.6. Comportarea în curent alternativ a condensatoarelor | 69 |
| 3. BOBINE | 75 |
| 3.1. Inductivitatea/inductanța unei bobine | 75 |
| 3.2. Structura și clasificarea bobinelor | 76 |
| 3.3. Tipuri constructive de bobine | 77 |
| 3.4. Ecranarea bobinelor | 81 |
| 3.5. Caracteristici principale și circuite echivalente ale bobinelor | 83 |
| 3.6. Aplicații ale bobinelor | 85 |
| 3.6.1. Transformatorul | 85 |
| 3.6.2. Circuitul RLC serie | 87 |
| 3.6.3. Circuitul RLC derivate | 90 |
| 3.6.4. Circuite cuplate | 95 |
| 3.6.5. Filtru electric pasiv | 100 |
| 4. CABLAJE IMPRIMATE | 106 |
| 4.1. Generalități | 106 |
| 4.2. Structura și clasificarea cablajelor imprimate | 107 |
| 4.3. Metode și tehnologii de realizare a cablajelor imprimate | 109 |
| 4.4. Realizarea cablajelor imprimate monostrat prin metode de corodare | 110 |
| 4.4.1. Metoda fotografică | 111 |
| 4.4.2. Metoda serigrafică | 114 |
| 4.5. Realizarea fotooriginalului | 115 |
| 4.6. Realizarea cablajelor imprimate multistrat | 117 |
| 4.7. Modele de cablaje imprimate | 122 |
| 4.8. Echiparea cablajelor imprimate cu componente electronice | 126 |
| 5. FIABILITATEA COMPONENTELOR PASIVE | 128 |
| 5.1. Noțiuni de fiabilitate | 128 |
| 5.2. Fiabilitatea rezistoarelor | 129 |
| 5.3. Fiabilitatea condensatoarelor | 131 |
| 5.4. Fiabilitatea bobinelor | 133 |
| 5.5. Fiabilitatea cablajelor imprimate echipate cu componente | 135 |
| 6. TEHNOLOGIA DE MONTARE A COMPONENTELOR PE SUPRAFAȚĂ | 137 |
| 6.1. Componente electronice pasive SMD | 138 |
| 6.1.1. Rezistoare | 138 |
| 6.1.2. Condensatoare ceramice multistrat | 139 |
| 6.1.3. Condensatoare electrolitice cu aluminiu | 140 |
| 6.1.4. Condensatoare electrolitice cu tantal | 140 |
| 6.1.5. Termistoare | 140 |
| 6.1.6. Rezistoare semivariabile | 141 |
| 6.1.7. Bobine | 141 |
| 6.2. Considerații generale privind tehnologia montării pe suprafață a componentelor | 142 |
| Bibliografie | 143 |

REZISTOARE

1.1. CLASIFICAREA REZISTOARELOR

Rezistoarele sînt componente pasive de bază în aparatura electronică, reprezentînd aproximativ 30—40% din numărul pieselor unui aparat electronic.

Așa cum se vede în fig. 1.1, ele sînt de dimensiuni și forme variate, fiind de tipuri diferite: rezistoare, potențiometre, termistoare, varistoare.

Rezistoarele se pot clasifica după mai multe criterii (fig. 1.2).

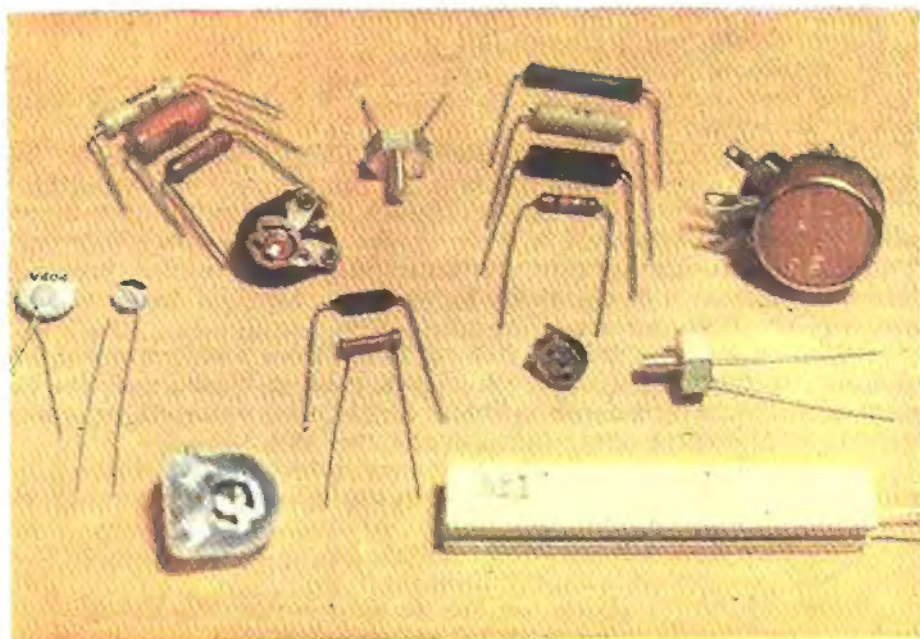


Fig. 1.1. Rezistoare de diferite tipuri.

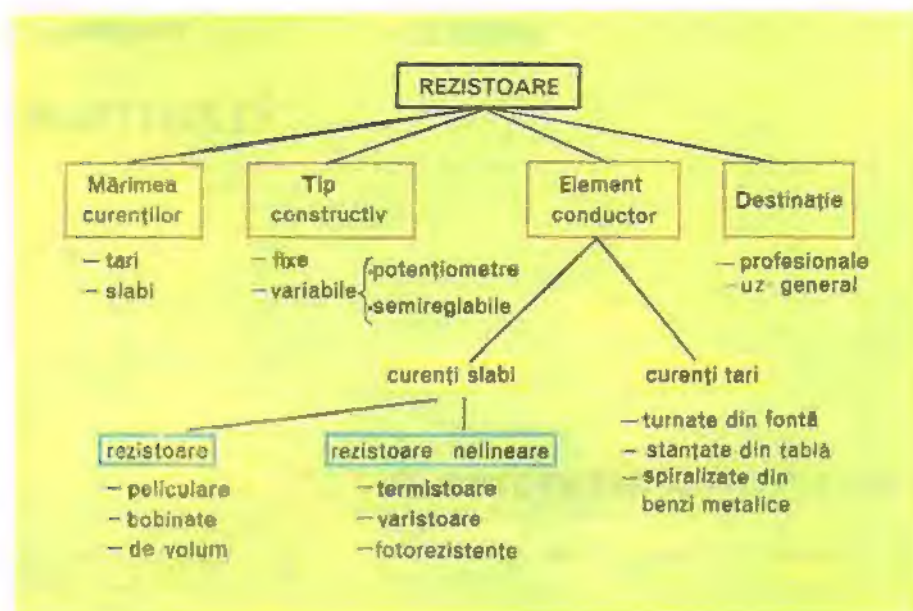


Fig. 1.2. Clasificarea rezistoarelor.

Astfel în funcție de intensitatea curenților care le străbăt, pot fi:

- rezistoare pentru curenți tari și
- rezistoare pentru curenți slabi.

Tipul constructiv al rezistoarelor este un alt criteriu de clasificare conform căruia există:

- rezistoare fixe, a căror rezistență stabilită în procesul de fabricație rămâne constantă pe întreaga perioadă de funcționare a rezistorului;
- rezistoare variabile a căror rezistență poate fi modificată în anumite limite, în timpul funcționării, în vederea efectuării unor operații de reglaj.

Elementul conductor care realizează funcția de rezistor propriu-zis oferă încă un criteriu de clasificare în funcție de domeniul de curent pentru care este construit rezistorul.

Astfel, pentru curenți slabi (folosiți în electronica industrială și de uz general) rezistoarele pot fi de volum, peliculare și bobinate. O categorie aparte o constituie rezistoarele neliniare care folosesc proprietățile semiconductoare în realizarea unor anumite caracteristici tehnice.

Rezistoarele destinate regimului de curenți tari sînt rezistoare folosite în industria energetică și electrotehnică, de valori mici și cu elementul rezistiv obținut prin:

- turnare din fontă (grile din fontă)
- ștanțare din tablă (tablă silicioasă)
- spiralizate (cu număr variabil de spire — după necesități —, din conductor metalic, din aliaj special, benzi metalice etc.).

După destinație, rezistoarele pot fi:

- profesionale
- de uz general.

1.2. PARAMETRII REZISTOARELOR

Rezistoarele fixe sînt caracterizate printr-o serie de parametri electrici și neelectrici (mecanici, climatici), principalii parametri electrici fiind:

— rezistența nominală R_n și toleranța t (exprimată în procente).

Rezistența nominală R_n este valoarea rezistenței care trebuie realizată prin procesul tehnologic și care se înscrie pe corpul rezistorului. A obține toate valorile de rezistențe necesare în montajele electronice ar însemna o mărire inutilă a complexității procesului tehnologic, pentru că, în practică, valorile rezistoarelor pot avea abateri de la valorile nominale, fără a modifica parametrii circuitului unde sînt folosite. Din această cauză s-au ales discontinuu valorile nominale ale rezistenței rezistoarelor ce urmează a se fabrica, alcătuindu-se serii de valori în funcție de clasele de toleranță (conform recomandărilor Comitetului Electrotehnic Internațional). Unitatea de măsură este: $[R] = 1 \Omega$ (ohm), cu multiplii săi: $10^3 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$, $10^6 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$, $10^9 \Omega = 1 \text{ G}\Omega$.

Toleranța, t , exprimă în procente abaterea maximă admisibilă a valorii reale R a rezistenței, față de valoarea nominală R_n :

$$t = \pm \max \frac{|R - R_n|}{R_n} \times 100$$

Seriile valorilor nominale ale rezistenței rezistoarelor alcătuiesc progresii geometrice în domeniul $1 \div 10 \Omega$, $10 \div 100 \Omega$ ș.a.m.d., iar clasele de toleranță corespund seriei de valori conform tabelului 1.1.

Tabelul 1.1

Seriile de valori nominale și clasele de toleranță ale rezistoarelor

| Seria | E_6 | E_{12} | E_{24} | E_{48} | E_{96} | E_{192} |
|-----------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|-------------|
| Toleranța | $\pm 20\%$ | $\pm 10\%$ | $\pm 5\%$ | $\pm 2,5\%$ | $\pm 1,25\%$ | $\pm 0,6\%$ |

Valorile nominale ale rezistoarelor din seriile uzuale E_6 , E_{12} și E_{24} sînt date în fig. 1.3.

— Puterea de disipație nominală, P_n , (exprimată în W și $\text{W}\frac{1}{2}$) și tensiunea nominală, U_n , reprezintă puterea electrică maximă și respectiv tensiunea electrică maximă ce se pot aplica rezistorului în regim de funcționare îndelungată fără a-i modifica caracteristicile.

Uzual, pentru a-i asigura rezistorului o funcționare cât mai îndelungată, puterea disipată de rezistor în circuit este bine să fie mai mică decît $0,5 P_n$. Puterile uzuale standardizate ale rezistoarelor sînt:

0,05; 0,10; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 12; 16; 25; 40; 50; 100 W.

Pentru o tensiune nominală U_n dată și o putere disipată maximă P_n impusă, există în seriile de valori nominalizate o singură valoare numită

| $R_n \cdot 10^k$ | E6 $\pm 20\%$ | E12 $\pm 10\%$ | E24 $\pm 5\%$ | E6 $\pm 20\%$ | E12 $\pm 10\%$ | E24 $\pm 5\%$ | E6 $\pm 20\%$ | E12 $\pm 10\%$ | E24 $\pm 5\%$ | E6 $\pm 20\%$ | E12 $\pm 10\%$ | E24 $\pm 5\%$ |
|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | $0 \leq k \leq 9$ | | | | | | | | | | | |
| (n) | 100 | 100 | 100 | | 180 | 180 | 330 | 330 | 330 | | 560 | 560 |
| | | | 110 | | | 200 | | | 360 | | 620 | |
| | | 120 | 120 | 220 | 220 | 220 | | 390 | 390 | 680 | 680 | 680 |
| | | | 130 | | | 240 | | | 430 | | | 750 |
| | 150 | 150 | 150 | | 270 | 270 | 470 | 470 | 470 | | 820 | 820 |
| | | | 160 | | | 300 | | | 510 | | | 910 |

Fig. 1.3. Serile de valori nominale în funcție de clasele de toleranță.

rezistență critică, R_{nc} , care poate fi utilizată simultan la cei doi parametri nominali și care este dată de relația:

$$R_{nc} = \frac{U_n^2}{P_n}$$

Deci, în aceeași clasă de putere și tensiune, toate valorile rezistoarelor (în afară de valoarea egală cu R_{nc}) sînt limitate fie de tensiune, fie de putere; în tabelul 1.2 sînt indicate tensiunile limită corespunzătoare unor puteri nominale uzuale ale rezistoarelor.

Tabelul 1.2

Tensiunile nominale corespunzătoare puterilor nominale (pentru rezistoarele peliculare)

| $P_n (W)$ | 0,125 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 |
|-----------|-------|------|-----|-----|-----|
| $U_n (V)$ | 125 | 250 | 350 | 500 | 700 |

— intervalul temperaturilor de lucru reprezintă intervalul de temperatură în limitele căruia se asigură funcționarea de lungă durată a rezistorului. Influența temperaturii asupra rezistenței rezistorului este pusă în evidență de coeficientul termic al rezistenței, definit astfel:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} [1/K] \quad \text{sau} \quad \alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} [1/K]$$

Pentru o variație liniară cu temperatura coeficientul devine:

$$\alpha_R = \frac{1}{R_1} \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1} [1/K]$$

unde R_1 și R_2 reprezintă rezistența rezistorului la temperatura T_1 (temperatura normală) și respectiv la temperatura T_2 .

— coeficientul de variație a rezistenței la acțiunea unor factori externi cum ar fi depozitare, umiditate, îmbătrânire etc. este dat de relația:

$$K_R = \frac{R_2 - R_1}{R} 100 [\%]$$

unde R_1 și R_2 sînt valorile rezistenței înainte și după acțiunea factorului considerat.

— tensiunea electromotoare de zgomot reprezintă valoarea eficace a tensiunii electromotoare care apare la bornele rezistorului în mod aleatoriu și care se datorește mișcării haotice și mișcării termice a electronilor precum și trecerii curentului prin rezistor; este exprimată în μV .

— precizia rezistoarelor. În funcție de performanțe (toleranță, tensiune de zgomot, valori maxime admisibile ale coeficienților de variație) rezistoarele se împart în clase de precizie. Denumirea clasei de precizie: 0,5; 2,5; 7; 15, este dată, de obicei, de coeficientul de variație la îmbătrânire după 5 000 de ore de funcționare la sarcină nominală.

În funcție de precizia lor, rezistoarele se împart în trei categorii: rezistoare etalon, de precizie și de uz curent; caracteristicile lor sînt prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3

Caracteristicile diferitelor categorii de rezistoare

| Categoria de rezistoare | Toleranță [%] | Tensiune de zgomot | Valori ale coeficienților de variație |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------------------|
| rezistoare etalon | $\pm 1/\pm 2,5$ | $\ll 1 \mu V$ | foarte mici |
| rezistoare de precizie | $\pm 2,5/\pm 5$ | $< 1 \mu V$ | medii |
| rezistoare de uz curent | $\pm 5/\pm 10/\pm 20$ | $< 15 \mu V$ | mari |

1.3. SIMBOLIZAREA ȘI MARCAREA REZISTOARELOR

Rezistoarele sînt reprezentate convențional printr-o serie de simboluri, conform STAS 11381/6-80; în figura 1.4 sînt ilustrate aceste simboluri, iar semnificația lor este dată în continuare:

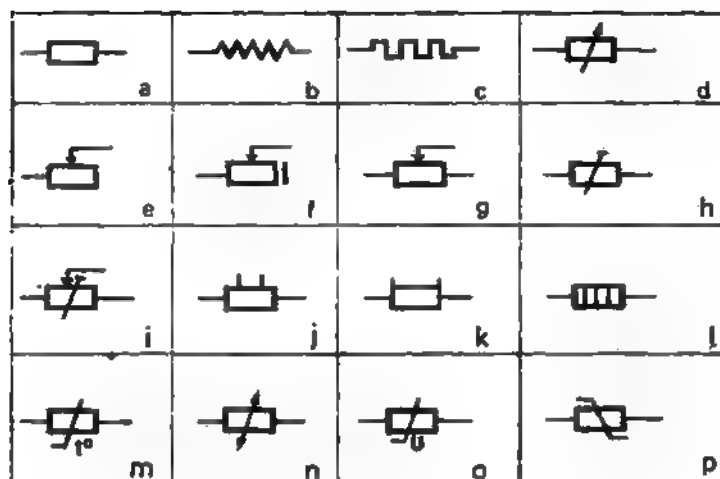



Fig. 1.4. Reprezentarea convențională pentru diferite tipuri de rezistoare.

- a: rezistor, semn general
- b: rezistor, semn tolerat
- c: rezistor, semn nestandardizat
- d: rezistor cu rezistență variabilă
- e: rezistor cu contact mobil
- f: rezistor cu contact mobil, cu poziție de întrerupere
- g: potențiomtru cu contact mobil
- h: potențiomtru cu contact mobil, semn tolerat
- i: potențiomtru cu ajustare predeterminată
- j: rezistență cu două prize fixe
- k: șunt
- l: element de încălzire
- m: rezistor cu rezistență neliniară, dependentă de temperatură (termistor)
- n: rezistor cu rezistență neliniară, dependentă de temperatură, semn tolerat.
- o: rezistor cu rezistență neliniară, dependentă de tensiune (varistor)
- p: rezistor cu rezistență neliniară, dependentă de tensiune (varistor), semn tolerat

Rezistorul este marcat în clar sau codificat (prin inele, benzi, puncte) sau prin simboluri alfanumerice codificate internațional; indiferent de modalitatea adoptată, în mod obligatoriu se înscrie pe orice tip de rezistor:

- rezistența nominală, R_n , cu unitatea ei de măsură în clar, în cod literal sau codul culorilor;
- toleranța valorii nominale în clar (în %), în cod literal sau codul culorilor.

Marcarea rezistoarelor în codul culorilor este ilustrată în fig. 1.5.



| Culoare | Prima cifră | A doua cifră | Coefficient de multiplicare | Toleranța |
|----------------|-------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Argintiu | | | 10^{-2} | $\pm 10\%$ |
| Auriu | | | 10^{-1} | $\pm 5\%$ |
| Negru | | 0 | 1 | |
| Maro | 1 | 1 | 10 | $\pm 1\%$ |
| Roșu | 2 | 2 | 10^2 | $\pm 2\%$ |
| Portocaliu | 3 | 3 | 10^3 | |
| Galben | 4 | 4 | 10^4 | |
| Verde | 5 | 5 | 10^5 | |
| Albastru | 6 | 6 | 10^6 | |
| Violet | 7 | 7 | 10^7 | |
| Gri | 8 | 8 | 10^8 | |
| Alb | 9 | 9 | 10^9 | |
| Nici o culoare | | | | $\pm 20\%$ |

Fig. 1.5. Marcarea rezistoarelor în codul culorilor.

Figura 1.6 indică codificarea literală a coeficienților de multiplicare la valorile rezistenței exprimate în ohmi, și codificarea literală a toleranței. Ci-

| Factor de multiplicare | Litera |
|------------------------|--------|
| 1 | R |
| 10^3 | K |
| 10^6 | M |
| 10^9 | G |
| 10^{12} | T |

a

| Toleranța % | Litera |
|-------------|--------|
| + 0,1 | B |
| $\pm 0,25$ | C |
| $\pm 0,5$ | D |
| ± 1 | F |
| ± 2 | G |
| ± 5 | J |
| ± 10 | K |
| ± 20 | M |
| ± 30 | N |

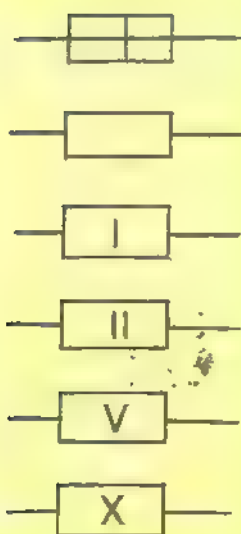
b

Fig 1.6. Codificarea literală: a) a coeficienților de multiplicare la valorile rezistenței exprimate în ohmi; b) a toleranței valorii rezistenței.

lewa exemple de marcare a rezistenței prin codificare în litere și cifre și în codul culorilor sînt ilustrate în figura 1.7. Pentru unele tipuri de rezis-

| Valoarea rezistenței | Codificarea cu litere și cifre | Codificarea în codul culorilor |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $0,75\Omega \pm 5\%$ | R75 J | 0,75 $\pm 5\%$ |
| $180\Omega \pm 10\%$ | 180 RK | 180 $\pm 10\%$ |
| $4,7K\Omega \pm 5\%$ | 4K7J | 4,7K |
| $560K\Omega \pm 10\%$ | 560K | 560K $\pm 10\%$ |
| $62M\Omega \pm 5\%$ | 62MJ | 62M $\pm 5\%$ |
| $3,3G\Omega \pm 20\%$ | 3G3M | 3,3G $\pm 20\%$ |

Fig. 1.7. Exemple de codificare a valorii nominale a rezistenței rezistorului.



toare se înscriu în mod obligatoriu următoarele mărimi:

— puterea disipată nominală, P_n , în clar, în cazul rezistoarelor de putere. Pentru rezistoarele peliculare puterea nu se marchează, ci se recunoaște după dimensiunile rezistorului.

În schemele electrice, marcarea convențională a puterii nominale a rezistoarelor se face ca în figura 1.8.

— coeficientul de temperatură al rezistenței α_r (numai la rezistoarele cu peliculă metalică sau din oxizi metalici), în cod literal sau de culori.

— tensiunea nominală limită, U_{lim} , la rezistoarele pentru înaltă tensiune, în clar sau în cod literal.

Fig. 1.8. Marcarea convențională a puterii nominale a rezistoarelor în schemele electrice. De sus în jos: 0,25 W; 0,5 W; 1 W; 2 W; 5 W; 10 W.

1.4. REZISTOARE FIXE

1.4.1. REZISTOARE PELICULARE

Se știe că pentru un conductor de secțiune S și de lungime l , dintr-un anumit material caracterizat prin rezistivitatea ρ , rezistența lui electrică este dată de relația următoare

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Dependența rezistenței de acești parametri este ilustrată în figura 1.9.

În proiectarea și realizarea rezistoarelor se folosește principal relația de mai sus, dar materialele utilizate și modalitățile de fabricație a rezistoarelor reale sînt destul de variate, permițînd obținerea acestora într-o gamă largă de valori și de puteri. [5], [6], [29]

Rezistoarele cele mai frecvent utilizate în industria electronică datorită prețului de cost mic sînt rezistoarele peliculare. La noi în țară, la I.P.E.E. Curtea de Argeș, se fabrică trei tipuri de rezistoare peliculare:

- a) rezistoare cu peliculă de carbon
- b) rezistoare cu peliculă de nichel
- c) rezistoare cu peliculă de oxizi metalici (cu glazură metalică)

a) *Rezistoarele cu peliculă de carbon* au formă cilindrică, terminalele axiale și sînt de mărimi diferite în funcție de puterea nominală disipată. Structura unui astfel de rezistor este dată în figura 1.10: pe un tronson ceramic 1 , este depusă prin piroliză o peliculă de carbon 2 , care este filetată pentru a crește și ajusta valoarea rezistenței pînă la valoarea nominală dorită. La capetele tronsonului, peste pelicula de carbon se depune o peliculă metalică din nichel, 4 , care

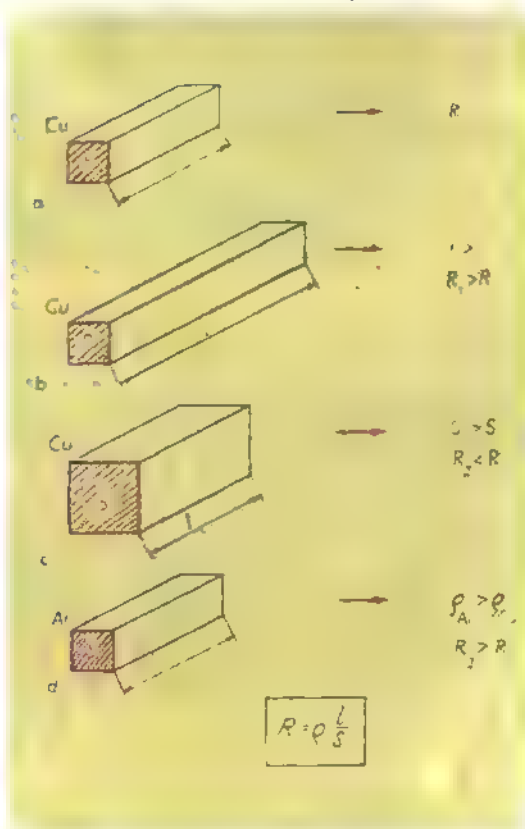


Fig. 1.9. Calculul rezistenței unui conductor: a) conductor de cupru, de lungime l , secțiune S ; b) dependența rezistenței de lungimea conductorului; c) dependența rezistenței de secțiunea conductorului; d) dependența rezistenței de natura conductorului.

permite realizarea contactului dintre elementul rezistiv și terminalul 6. Lipirea terminalelor la tronsonul rezistiv se face prin sudura cu un aliaj de lipit (fludor), 5, din plumb, staniu și decapant din colofoniu. Rezistorul este protejat cu o peliculă de vopsea (lac dielectric).

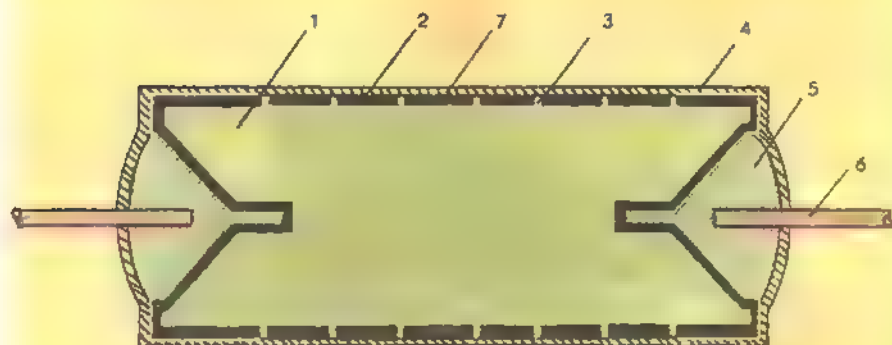


Fig. 1.10. Structura internă a unui rezistor cu peliculă de carbon: 1 — tronson ceramic; 2 — peliculă de carbon; 3 — șanț filetat în pelicula de carbon până la tronsonul ceramic; 4 — peliculă metalică; 5 — aliaj de lipit; 6 — terminal; 7 — peliculă de vopsea protectoare.

Pelicula rezistivă de carbon se obține în urma unei reacții chimice — piroliza — de descompunere a unei hidrocarburi saturate (metan, benzen, keptan, benzină de extracție) în atmosferă de azot sau gaz inert. Principial, o astfel de reacție se obține într-o instalație ilustrată în figura 1.11 și alcătuită dintr-un rezervor de hidrocarbură 1, rezervor de azot 2, și un cuptor electric 3, cu temperatura constantă.

Tronsoanele ceramice intră în cuptor pe o bandă transportoare 4; în incinta acestuia, la un anumit regim termic, are loc descompunerea hidrocarburi și depunerea stratului de carbon pe tronson.

Stratul de carbon depus poate fi strict controlat pentru că este dependent de temperatura cuptorului, de compoziția amestecului hidrocarbură-azot și de viteza de trecere a tronsoanelor prin cuptor.

Fazele tehnologice de fabricare a rezistoarelor cu peliculă de carbon sînt ilustrate în figura 1.12. Materialele ceramice amestecate cu un liant formează o pastă din care se presează tronsonul la dimensiunile dorite (în funcție de puterea nominală); după piroliză și depunerea peliculei de Ni la capete, tronsonul este spiralizat pentru a se ajunge la valoarea nominală dorită pentru rezistor; tronsonului astfel obținut i se lipesc prin sudură terminalele din sîrmă de cupru dublu cositorită; rezistorul astfel format este acoperit cu vopsea protectoare și apoi marcat. Rezistoarele cu peliculă de carbon se realizează la următoarele puteri nominale: 0,25 W, 0,5 W, 1 W și 2 W, figura 1.13.

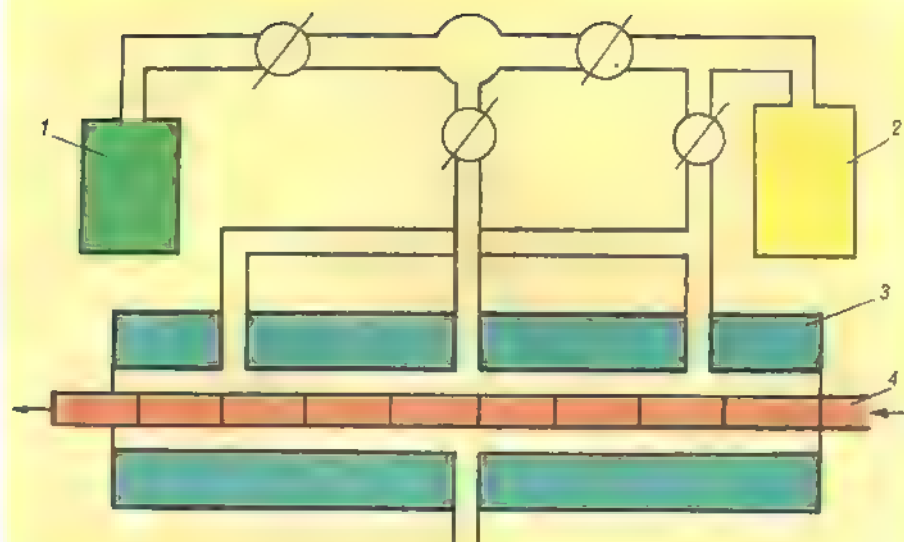


Fig. 1.11. Procedeu continuu de obținere a rezistoarelor cu peliculă de carbon; 1 — rezervor cu hidrocarbură; 2 — rezervor de azot; 3 — cuptor electric; 4 — bandă transportoare.

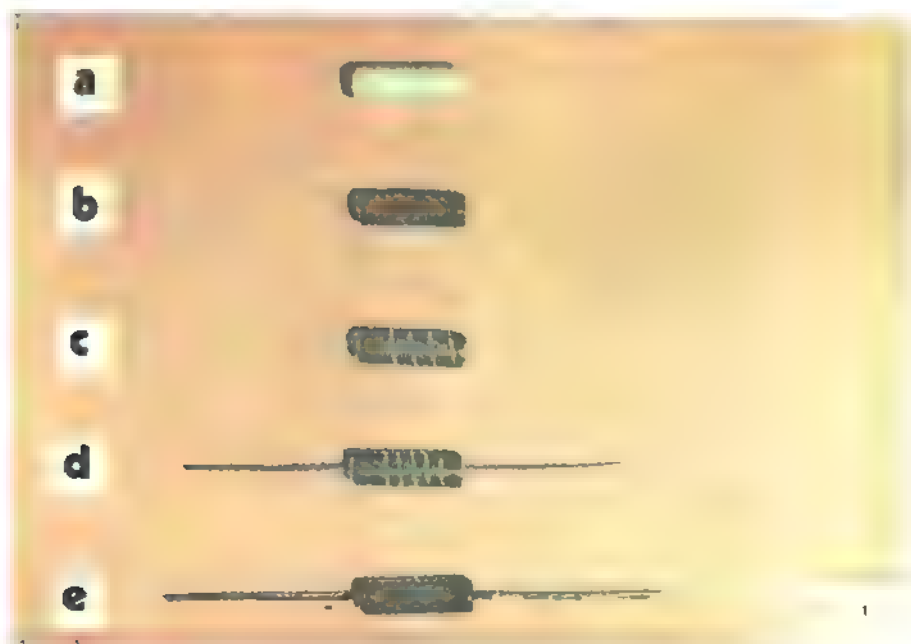


Fig. 1.12. Fazele tehnologice de fabricare ale rezistoarelor cu peliculă de carbon: a — tronșon ceramic; b — tronșon acoperit cu pelicula de carbon și metalizat la capete; c — tronșon spiralizat; d — tronșon cu terminale sudate; e — rezistor vopsit.

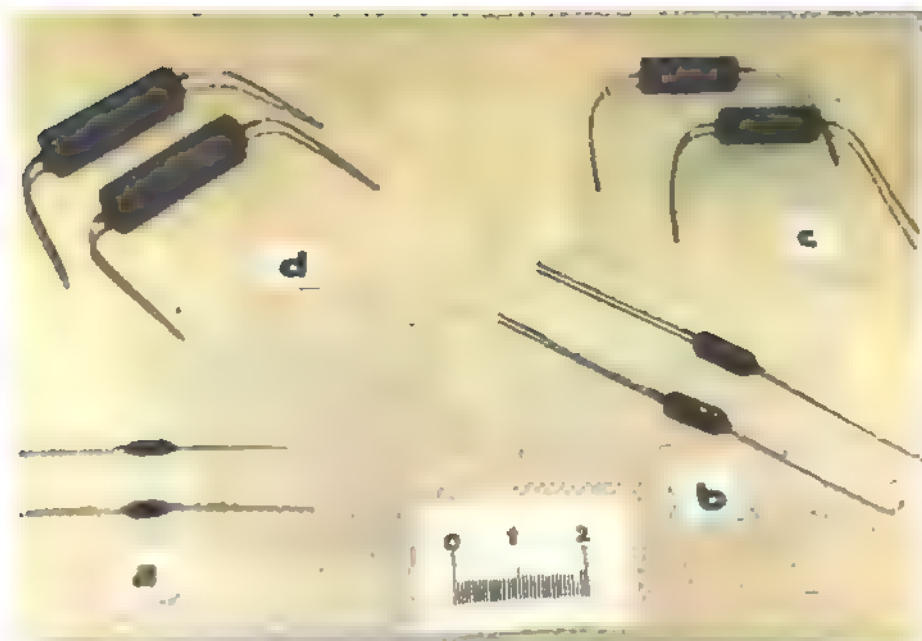


Fig. 1.13. Rezistoare peliculare de puteri diferite: *a* — rezistoare de 0,25 W; *b* — rezistoare de 0,5 W; *c* — rezistoare de 1 W; *d* — rezistoare de 2 W.

b) Rezistoarele cu peliculă de nichel au un proces tehnologic asemănător cu cel descris mai sus. Deosebită este însă depunerea elementului rezistiv pe tronsonul ceramic: pe toată suprafața tronsonului se obține o peliculă de nichel prin depunerea chimică de grosime $< 100 \mu\text{m}$ (cu cât pelicula este mai subțire, cu atât se obține o valoare nominală mai mare). Urmează apoi spiralizarea, lipirea terminalelor, protejarea și marcarea rezistoarelor astfel obținute (sînt identice la înfățișare cu rezistoarele cu peliculă de carbon). Acest proces tehnologic este folosit pentru obținerea valorilor nominale mici, între $1 \Omega \div 330 \Omega$.

Caracteristicile nominale ale rezistoarelor peliculare sînt date în tabelul 1.4.

c) Rezistoarele cu peliculă de oxizi metalici (sau cu glazură metalică) sînt componente profesionale caracterizate prin precizie și stabilitate ridicate, coeficient de variație cu temperatura scăzut, dimensiuni mici, dar și coeficient (factor) de zgomot ridicat.

Suportul izolant este plan și din alumină (material ceramic special). În prima etapă, suportul izolant se realizează la dimensiuni mari, ceea ce permite realizarea a $100 \div 200$ „cipuri” rezistive simultan (fig. 1.14). Prin serigrafie se depune pe aceste cipuri o peliculă de Ag-Pd (care va permite conectarea terminalelor) și apoi o peliculă rezistivă formată din oxizi metalici. Fixarea acestor pelicule se obține prin tratament termic.

Serigrafierea peliculei rezistive nu permite obținerea exactă a valorii nominale și urmează o ajustare la valoarea dorită în limitele clasei de tole-



Fig. 1.14. Formarea „cipului” rezistiv: a) suport din alumina; b) suport cu pelicula Ag-Pd depusă; c) suport cu elementul rezistiv depus.

ranță fixate. Ajustarea se face automat, cu ajutorul unor capete de măsură care explorează placa suport cip cu cip și comandă un jet de pulbere abrazivă care înlătură surplusul de peliculă rezistivă până când valoarea obținută se înscrie în clasa de toleranță fixată.

Separarea cipurilor rezistive se face cu laser; prin sudură cu aliaj de lipă se asigură plasarea terminalelor din cupru pe zonele de Ag-Pd. Protecția rezistorului astfel obținut (fig. 1.15) se face prin acoperire cu rășină termodură, urmată de ceruire. Parametrii principali ai acestor rezistoare sînt dați în tabelul 1.4.

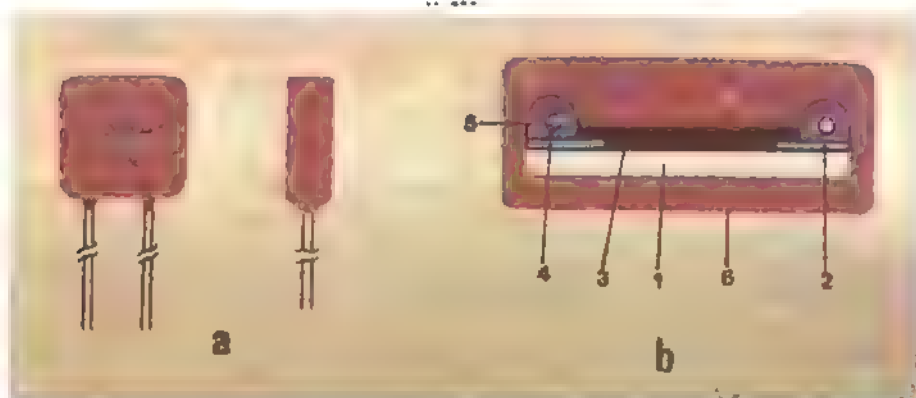


Fig. 1.15. Rezistor cu peliculă de oxizi metalici: a) vedere; b) structură; 1 — suport de alumina, 2 — peliculă de Ag-Pd, 3 — peliculă rezistivă, 4 — terminal, 5 — aliaj de lipă, 6 — rășina termodură.

Prin aceeași tehnologie se obțin și rezistoare pentru înaltă tensiune (pînă la 4KV), rețele rezistive (conținînd cel mult 20 de rezistoare de precizie), rețele de atenuare (conținînd un număr variabil de rezistoare conectate în scheme de atenuatoare).

1.4.2. REZISTOARE BOBINATE

Pentru circuite în care intervin puteri disipate mari (de la 1 W pînă la 250 W) se folosesc rezistoarele bobinate (cimentate sau în corp ceramic).

Structura internă a unui rezistor bobinat cimentat este redată în figura 1.16.

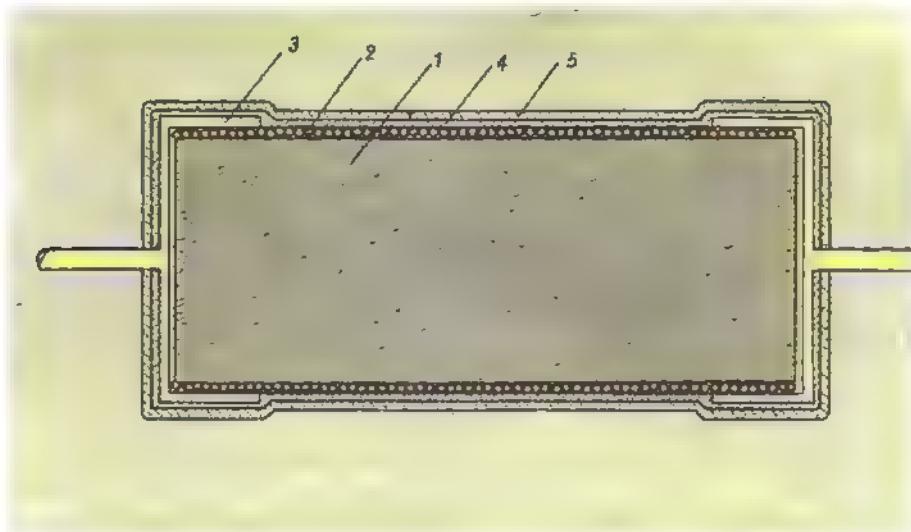


Fig. 1.16. Structura internă a unui rezistor bobinat cimentat: 1 — tronson din fibră de sticlă; 2 — fir rezistiv bobinat; 3 — terminal cu căpăcel; 4 — strat de ciment; 5 — peliculă de vopsea.

Rezistorul bobinat cimentat este alcătuit dintr-un tronson din fibre de sticlă 1, pe care se spiralează un fir rezistiv 2; pentru realizarea contactelor exterioare se folosesc terminale axiale prevăzute cu căpăcele, 3. Protecția se realizează cu un strat de ciment siliconic 4, peste care se aplică o peliculă de vopsea 5.

Rezultatele principalelor faze ale fluxului tehnologic pentru acest tip de rezistoare, sînt ilustrate în fig. 1.17: prin răsucirea unui mănunchi de fibre de sticlă se obține un tronson continuu cu bune proprietăți mecanice, termice și electrice; pe acest tronson se bobinează un fir rezistiv din aliaj Cu-Ni sau Cr-Ni care este fixat pe tronson cu ajutorul unui lac dielectric. Din acest tronson bară se taie tronsoane rezistive de lungime necesară obținerii unei anumite valori nominale (toate aceste operații se execută la o instalație complexă complet automată); tronsonul este prevăzut cu terminale axiale cu căpăcele care se conectează prin presare; rezistorul astfel obținut este protejat prin acoperire cu un strat de ciment siliconic; urmează apoi vopsirea și marcarea acestuia.

Rezistoarele fabricate prin această tehnologie la I.P.E.E. — Curtea de Argeș pot atinge puteri pînă la 9 W.

Pentru puteri cuprinse în domeniul 2 W÷20 W se folosesc rezistoare bobinate introduse în corp ceramic. Procesul tehnologic de obținere a tronsonului rezistiv echipat cu terminale cu căpăcele este similar celui descris mai



Fig. 1.17. Fazele tehnologice de fabricare ale rezistoarelor bobinate, cimentate: *a* — tronson de fibră de sticlă cu fir conductor spiralat și fixat pe suport; *b* — tronson rezistiv prevăzut cu terminale cu căpăcele fixate prin presare; *c* — rezistor protejat cu un strat de ciment siliconic.

sus. Figura 1.18 reproduce fazele tehnologice de fabricație ale acestei componente:

- a* — obținerea tronsonului cu conductor spiralizat
- b* — fixarea prin presare a terminalelor neegale prevăzute cu căpăcele
- c* — obținerea corpului ceramic (prin tehnologie proprie materialelor ceramice) care poate fi tubular, cu secțiune pătrată sau profilat de diferite dimensiuni
- d* — rezistorul este introdus în acest corp ceramic; spațiul liber rămas se umple cu material izolant (nisip cuarțos) și la capete se cimentează (cu ciment siliconic).

În afară de aceste două tipuri de rezistoare de putere folosite în aparatura electronică, se mai realizează la noi în țară rezistoare bobinate antiparazitare și rezistoare bobinate de mare putere.

Rezistoarele bobinate antiparazitare sînt folosite la motoarele auto pentru antiparazitare. Ele constau dintr-un suport izolant (fibre de sticlă) pe care se bobinează un fir conductor fixat cu ajutorul unui lac dielectric; terminalele sînt sub forma unor căpăcele stanate care prin presare realizează contactul electric cu firul rezistiv, la capetele tronsonului; sînt acoperite cu un lac protector.

Rezistoarele bobinate de putere sînt construite prin bobinarea unui fir conductor pe un suport ceramic tubular; pot fi fixe sau reglabile, iar protecția se realizează fie prin cimentare (strat de ciment siliconic, terminalele fiind coliere radiale de care se pot atășa cabluri lițate, papuci etc.) sau prin glazurare (terminalele sînt plate, fixate la capete).

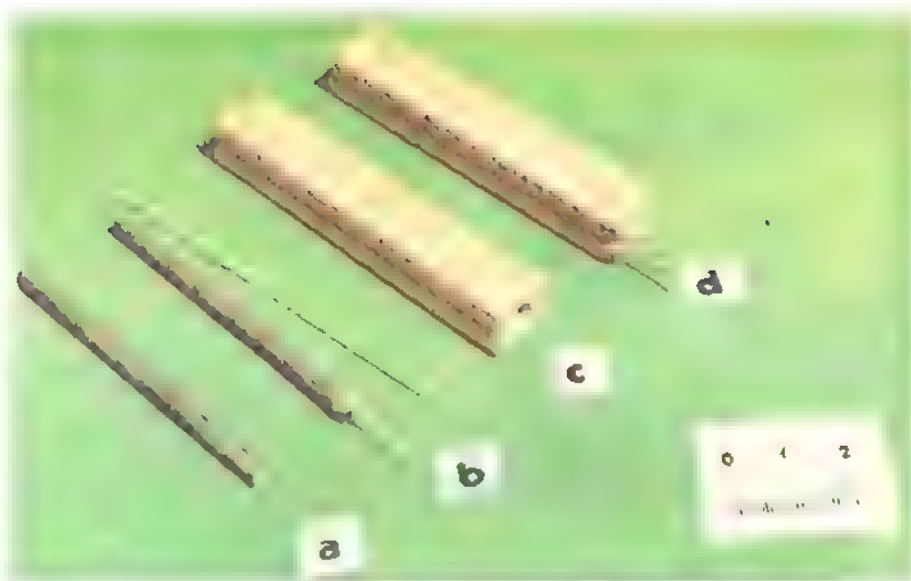
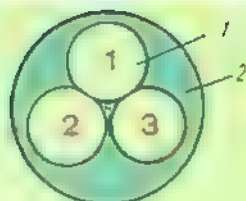
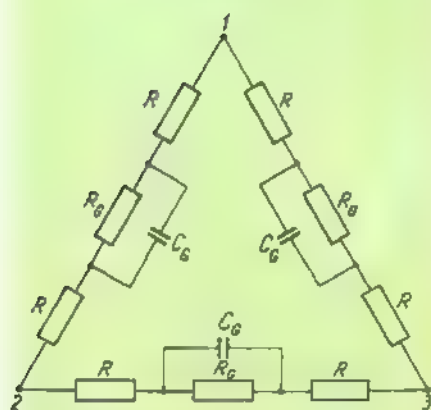


Fig. 1.18. Fazele tehnologice de fabricare ale unui rezistor bobinat introdus în corp ceramic: *a* — tronson rezistiv; *b* — tronson cu terminalele fixate; *c* — corp ceramic; *d* — produs final.

Acest tip de rezistoare se construiesc pentru puteri cuprinse între 5÷250 W.



a



b

1.4.3. REZISTOARE DE VOLUM

Rezistoarele de volum sînt realizate dintr-un amestec de material conductor (grafit, negru de fum) și un material izolant de umplură (talc, bioxid de titan, caolin etc.). Structura internă a unui astfel de rezistor este ilustrată în fig. 1.19 *a*, iar schema electrică echivalentă între trei granule de material conductor cuprinde: R_g — rezistența granulei, R — rezistența dintre granule, iar C_g — capacitatea parazită, fig. 1.19 *b*.

Fig. 1.19. Rezistor de volum: *a*) Structura internă: 1 — granulă de material conductor, 2 — material izolant; *b*) schema electrică echivalentă.

Acești tip de componente are o tehnologie simplă și prezintă robustețe electrică și mecanică bună, dar majoritatea proprietăților electrice sînt inferioare altor tipuri. Nu sînt rezistoare de precizie și nu se fabrică în țara noastră.

*
* * *

În tabelul care urmează sînt cuprinși parametrii electrice esențiali ai rezistoarelor fabricate în țară, la I.P.E.E. — Curtea de Argeș.

Tabelul 1.4

Parametrii electrice importanți ai rezistoarelor
fabricate la I.P.E.E. — Curtea de Argeș

| Tipul rezistorului | Seria | Valoare nominală | Toleranță ±[%] | Putere [W] |
|--|-------|-----------------------------|----------------------|---|
| — rezistoare cu peliculă de carbon | RCG | 330 Ω ÷ 1 MΩ | 2,5/5/10/20 | 0,25; 0,5; 1; 2 |
| — rezistoare cu peliculă metalică | RMG | 1 Ω ÷ 330 Ω | 2,5/5/10/20 | 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 |
| — rezistor cu peliculă oxizi metalici | RPM | 50 Ω ÷ 2 MΩ | 0,25/0,5/1/2/5 | 0,125; 0,25; 0,5; 1 |
| — rezistoare pentru înaltă tensiune | HVR | 1 MΩ ÷ 100 MΩ | 5/10 0,25/0,5/1/5 | U _{max} = 4 kV 0,125; 0,25; 0,5 |
| — rețele rezistive | | 0,5 Ω ÷ 10 Ω 10 Ω ÷ 1 MΩ | 5/10 1 | 0,5 0,5 0,5 |
| — rețele de atenuare | | | | |
| — rezistoare bobinate cimentate | RBC | 0,1 Ω ÷ 30 kΩ | 5/10 | 1 ÷ 9 |
| — rezistoare bobinate în corp ceramic (cu terminale axiale) | RBA | 0,1 Ω ÷ 60 kΩ | 5/10 | 2 ÷ 20 |
| — rezistoare bobinate în corp ceramic (cu terminale radiale) | RBT | 1 Ω ÷ 60 kΩ | 5/10 | 10 ÷ 16 |
| — rezistoare bobinate pentru antiparazitare | RE-EA | 810 Ω ÷ 13 kΩ | 5/10 | |
| — rezistoare bobinate de putere, cimentate | RBP | | | |
| | RBR | 1 Ω ÷ 60 kΩ | 5/10 | 5 ÷ 250 |
| — rezistoare bobinate de putere glazurate, fixe și reglabile | RGF | 1 Ω ÷ 200 kΩ | 5/10 | 16 ÷ 250 |

1.5. CONECTAREA ÎN SERIE, PARALEL ȘI MIXTĂ A REZISTOARELOR

În circuitele electronice, uneori, este nevoie de o anumită valoare de rezistență care nu se găsește ca valoare nominală în seriile de valori; prin conectarea în serie, paralel sau mixtă (combinată) a mai multor rezistoare, se poate ajunge la valoarea dorită (fig. 1.20).

Astfel, două rezistoare de rezistențe R_1 și R_2 conectate în serie, pot fi echivalente cu un rezistor a cărui rezistență R_e este egală cu suma celorlalte două:

$$R_e = R_1 + R_2$$

Pentru n rezistoare legate în serie, rezistența echivalentă este dată de suma rezistențelor componente (fig. 1.20 a).

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Două rezistoare R_1 și R_2 legate în paralel sint echivalente cu un rezistor a cărui rezistență este dată de relația:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Pentru n rezistoare legate în paralel (fig. 1.20 b) rezistența echivalentă este dată de relația:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Conectarea mixtă (combina) a rezistoarelor ilustrată în fig. 1.20 c, permite obținerea unei rezistențe echivalente dată de relația

$$R_e = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

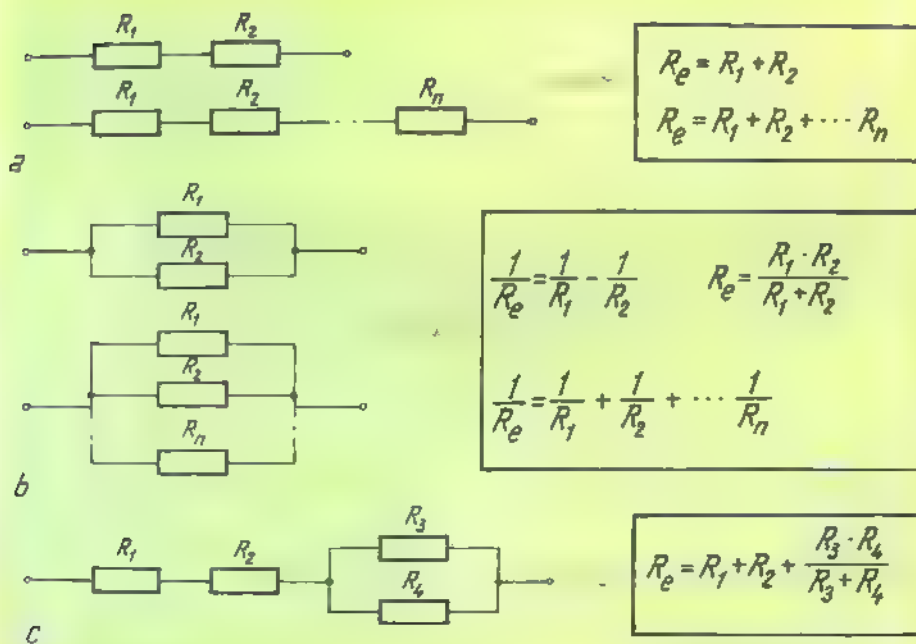


Fig. 1.20. Conectarea rezistoarelor: a) în serie; b) în paralel; c) mixtă.

Relațiile de mai sus se pot deduce simplu aplicând o tensiune U rețelei propuse și calculând curentul I care o străbate, folosind legea lui Ohm și legile lui Kirchoff.

Pentru exemplificare să calculăm, folosind relațiile de mai sus, rezistența echivalentă a rețelei ilustrată în fig. 1.21. Vom avea:

$$R_{99} = R_8 \parallel R_9 = \frac{R_8 R_9}{R_8 + R_9} \quad R_{e1} = R_4 + R_{99} = R_4 + \frac{R_8 R_9}{R_8 + R_9}$$

$$\frac{1}{R_{967}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} \quad R_{567} = \frac{R_5 R_6 R_7}{R_5 R_6 + R_5 R_7 + R_6 R_7}$$

$$R_{e2} = R_{10} + R_{567} \quad R_{e3} = R_{e1} \parallel R_{e2} = \frac{R_{e1} R_{e2}}{R_{e1} + R_{e2}}$$

$$R_{e4} = R_1 + R_{e3} \quad R_{23} = R_2 \parallel R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_e = R_{e4} \parallel R_{23} = \frac{R_{e4} \cdot R_{23}}{R_{e4} + R_{23}}$$

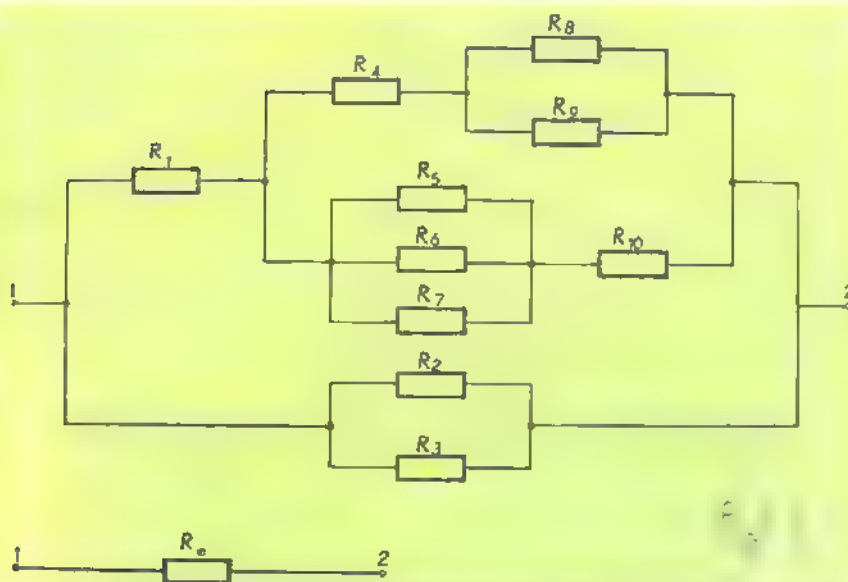


Fig. 1.21. Problemă privind calculul rezistenței echivalente.

1.6. COMPORTAREA ÎN CURENT ALTERNATIV A REZISTORULUI

Pentru a se vedea cum se comportă în curent alternativ un rezistor idealizat (fără elemente parazite), de rezistență R , să considerăm circuitul din fig. 1.22, unde un generator de tensiune alternativă va debita pe rezistorul R un curent $i(t)$.

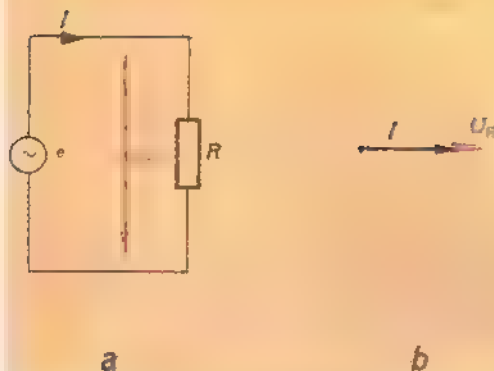


Fig. 1.22. Comportarea în curent alternativ a rezistorului: a) schema electrică; b) diagrama fazorială.

Relația dintre tensiunea u_R care apare la bornele rezistorului R și curentul $i(t)$ care îl străbate este, conform legii lui Ohm:

$$u_R = Ri(t)$$

Dacă: $i(t) = I \sin \omega t$

unde: I = amplitudinea (valoarea maximă) a curentului,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \text{pulsatia, } T = \text{perioada,}$$

f = frecvența semnalului sinusoidal.

i, u — valoarea instantanee a curentului și respectiv a tensiunii,

atunci expresia tensiunii la bornele rezistorului devine:

$$u_R(t) = RI \sin \omega t = U_R \sin \omega t,$$

$$U_R = RI$$

Rezultă, deci, la bornele rezistorului o tensiune sinusoidală în fază cu curentul.

O mărime sinusoidală, $A \sin \omega t$, se reprezintă de obicei printr-un vector A a cărui mărime este egală cu amplitudinea A și care se rotește în jurul unui punct fix O în sens trigonometric cu viteza unghiulară ω . Acest vector se numește *fazor rotitor* pentru că unghiul descris de fazor în momentul t (momentul inițial $t_i = 0$) este egal cu faza mărimii sinusoidale, ωt . Proiecția fazorului pe axa perpendiculară pe axa de referință reprezintă tocmai valoarea instantanee a mărimii sinusoidale, $A \sin \omega t$ (figura 1.23).

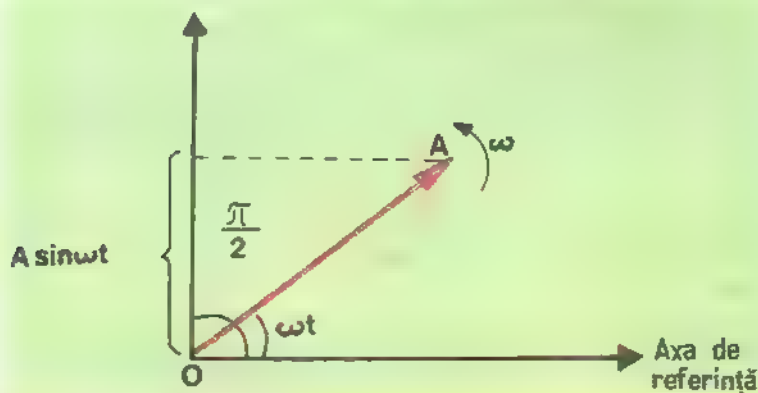


Fig. 1.23. Diagramă de fazori rotitori.

În cazul în care presupunem că axa OX se rotește cu viteza ω în sens invers trigonometric, vectorul A devine staționar și se numește *fazor staționar*.

Reprezentarea mărimilor sinusoidale cu ajutorul fazorilor staționari permite punerea în evidență a defazajelor dintre ele.

Astfel, pentru rezistorul R străbătut de curentul sinusoidal $i(t) = I \sin \omega t$, diagrama fazorială este ilustrată în fig. 1.22 *b*.

Puterea absorbită de rezistor este o funcție de timp și se poate pune sub forma:

$$p = ui = U_R \sin \omega t \cdot I \sin \omega t = U_R I \sin^2 \omega t = \frac{U_R I}{2} (1 - \cos^2 \omega t)$$

Dacă se calculează valoarea medie a puterii, se găsește:

$$P = \frac{U_R I}{2} = U_{R\text{ef}} I_{\text{ef}}$$

unde $U_{R\text{ef}}$ și I_{ef} sînt valorile eficace ale mărimilor sinusoidale și sînt date de relațiile:

$$U_{R\text{ef}} = \frac{U_R}{\sqrt{2}}; \quad I_{\text{ef}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Valoarea eficace I_{ef} a unui curent $i(t) = I \sin \omega t$ este numeric egală cu intensitatea unui curent continuu care, străbătînd aceeași rezistență ca și curentul alternativ timp de o perioadă T , dezvoltă aceeași cantitate de căldură. Se deduce că:

$$I_{\text{ef}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

iar expresia instantanee a curentului devine:

$$i(t) = I \sin \omega t = I_{\text{ef}} \sqrt{2} \sin \omega t$$

Dacă o mărime sinusoidală are și fază inițială expresia instantanee devine:

$$a(t) = A \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$$

În calculele circuitelor electronice, a păstra acest mod de scriere este destul de dificil, mai ales cînd apar relații ample și complicate. S-a trecut la o scriere simplificată care folosește proprietățile numerelor complexe. Folosind această scriere simplificată în complex, mărimea $a(t)$ va fi caracterizată numai de valoarea eficace A și faza inițială:

$$a(t) = A e^{j\omega t}, \quad (j = \sqrt{-1})$$

Introducerea operatorului j ușurează operațiile de derivare și integrare; astfel reacțanța inductivă și defazajul de $\frac{\pi}{2}$ introduse de bobină în circuit vor putea fi scrise: $jX_L = j\omega L$ iar pentru condensator: $\frac{X_C}{j} = -jX_C = \frac{1}{j\omega C}$

Aceste noțiuni ne sînt necesare pentru a analiza comportarea rezistorului real în circuit, la diferite frecvențe.

Din analiza proceselor tehnologice ale diferitelor tipuri de rezistoare rezultă că rezistorul real prezintă o serie de elemente parazite care modifică funcționarea lui, mai ales la frecvențe înalte. De exemplu rezistoarele bobi-

nate și chiar și cele cu peliculă dar spiralate prezintă o inductanță parazită care, la frecvențe mari, este supărătoare.

Rezistoarele cu peliculă de oxizi metalici au această inductanță practic nulă.

Rezistoarele bobinate prezintă și capacități parazite între spire datorită diferenței de potențial între ele; apar de asemenea la toate tipurile de rezistoare capacități parazite ale terminalelor față de masă.

Astfel, schema echivalentă a rezistorului tehnic real este prezentată în figura 1.24.

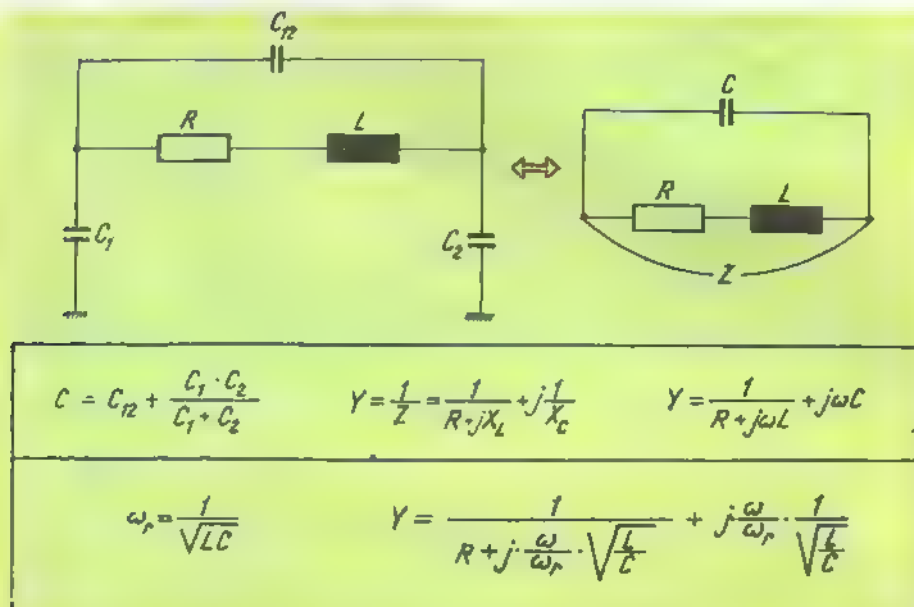


Fig. 1.24. Schema echivalentă a rezistorului tehnic real

Dacă se notează cu C_{12} capacitatea parazită echivalentă între extremitățile rezistorului, cu C_1 și C_2 capacitățile parazite ale terminalelor față de masă, și cu L inductivitatea parazită datorată cîmpului magnetic ce apare prin fenomen de inducție magnetică în elementul rezistiv străbătut de curent, se poate calcula o impedanță, respectiv o admitanță echivalentă astfel:

$$C = C_{12} + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX_L} + j\frac{1}{X_C} = \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C$$

Dacă notăm $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, expresia admitanței se poate scrie:

$$Y = \frac{1}{R + j \frac{\omega}{\omega_r} \sqrt{\frac{L}{C}}} + j \frac{\omega}{\omega_r} \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Rezultă că:

- dacă raportul $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} < 1$, admitanța are caracter capacitativ la orice frecvență;

— pentru $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} > 1$, admitanța are caracter inductiv la joasă frecvență și capacitiv pentru frecvențe înalte, existînd o frecvență ω_0 pentru care circuitul se comportă aproximativ ca o rezistență pură;

— pentru $\frac{\sqrt{L}}{R} \cong 1$ circuitul se comportă aproximativ ca o rezistență pură în domeniul pentru care $\omega < 0,3 \omega_r$.

Prin tehnologie de fabricație adaptată se poate obține relația dorită între R și elementele parazite, într-o anumită bandă de frecvență.

1.7. APLICAȚII ALE REZISTOARELOR FIXE

Rezistoarele sînt componente frecvent utilizate în circuitele electronice, una din principalele lor aplicații fiind *divizorul de tensiune*.

Pentru un circuit ca cel din figura 1.25 a, cu două rezistoare în serie R_1 și R_2 , cărora li se aplică tensiunea U_0 , tensiunea de ieșire U_2 , culeasă de pe rezistența R_2 , va fi obținută prin relațiile:

$$U_0 = U_1 + U_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

$$I = \frac{U_0}{R_1 + R_2} \quad U_2 = R_2 I = R_2 \frac{U_0}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0$$

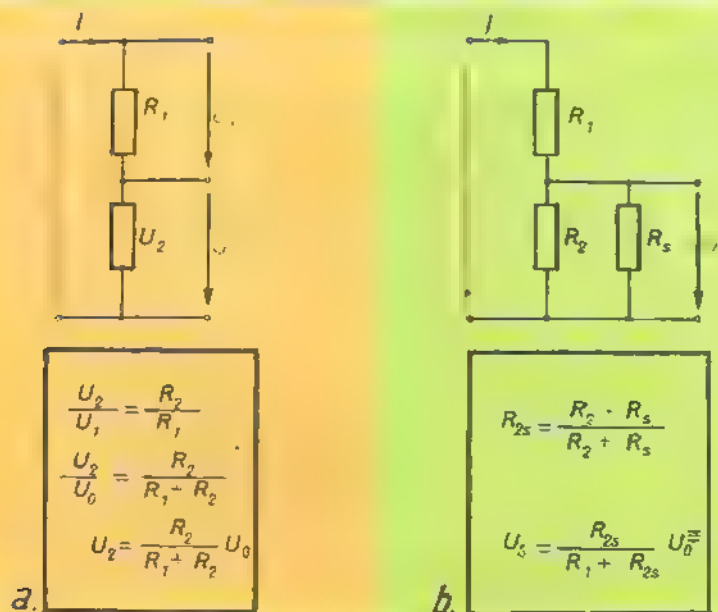


Fig. 1.25. Divizorul de tensiune: a) fără rezistență de sarcină; b) cu rezistență de sarcină.

Dacă în paralel cu R_2 se află o rezistență de sarcină R_s (fig. 1.25 b), atunci tensiunea de sarcină U_s va fi dată de relația:

$$U_s = \frac{R_s}{R_1 + R_s} U_0$$

unde: $R_{s1} = R_1 || R_s = \frac{R_1 R_s}{R_1 + R_s}$

O altă aplicație importantă este *divizorul de curenți* (fig. 1.26). Tensiunea de ieșire U_2 este proporțională cu curențul I_2 :

$$U_2 = R_s I_2$$

Curențul I_2 apare în urma divizării curențului I pe cele două ramuri ale circuitului.

Dintre schemele electronice uzuale în care rezistoarele au un rol esențial amintim câteva:

Fig. 1.26. Divizorul de curenți.

- etaj de amplificare cu un tranzistor, în care rezistoarele determină punctul static de funcționare al tranzistorului T (fig. 1.27 a),
- amplificator operațional folosit ca amplificator inversor, fig. 1.27 b,
- generator de impulsuri dreptunghiulare a cărei frecvență este determinată de valoarea rezistoarelor și condensatoarelor din circuitul de reacție, figura 1.27 c.

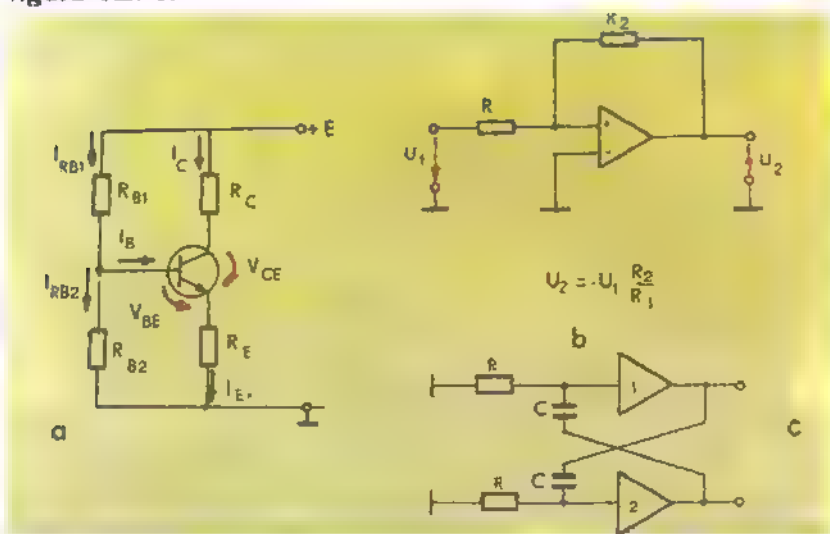


Fig. 1.27. Utilizarea rezistorului în scheme electronice: a) etaj de amplificare cu un rezistor; b) amplificator inversor; c) generator de impulsuri dreptunghiulare.

1.8. REZISTOARE VARIABLE ȘI SEMIVARIABLE

Rezistoarele variabile sau *potențiometrele* sînt rezistoare a căror rezistență poate fi variată continuu sau în trepte între anumite limite, prin deplasarea unui contact mobil (cursor) pe suprafața elementului rezistiv.

În afară de parametrii electrici proprii fiecărui rezistor, *potențiometrele* sînt caracterizate de cîțiva parametri specifici:

- rezistența reziduală (inițială sau finală), R_0 [Ω]: este egală cu valoarea maximă admisibilă a rezistenței electrice măsurate între ieșirea cursorului și unul din terminale, cînd cursorul se află la una din extremitățile cursei de reglaj,

- rezistența de contact, R_k , între cursor și elementul rezistiv,

- precizia reglării care depinde de materialul rezistiv și de rezistența de contact dintre cursor și elementul rezistiv,

- legea de variație a rezistenței, care indică variația valorii rezistenței electrice R ce trebuie obținută la ieșirea potențiometrului în funcție de poziția unghiulară sau liniară a cursorului. Legile de variație uzuale sînt:

A — liniar; B — logaritmîc; C — invers logaritmîc; D — exponențial; E — invers exponențial; F — dublu logaritmîc; S — curbă în formă de S , sinusoidă, cosinusoidă; legile de variație sînt ilustrate în fig. 1.28.

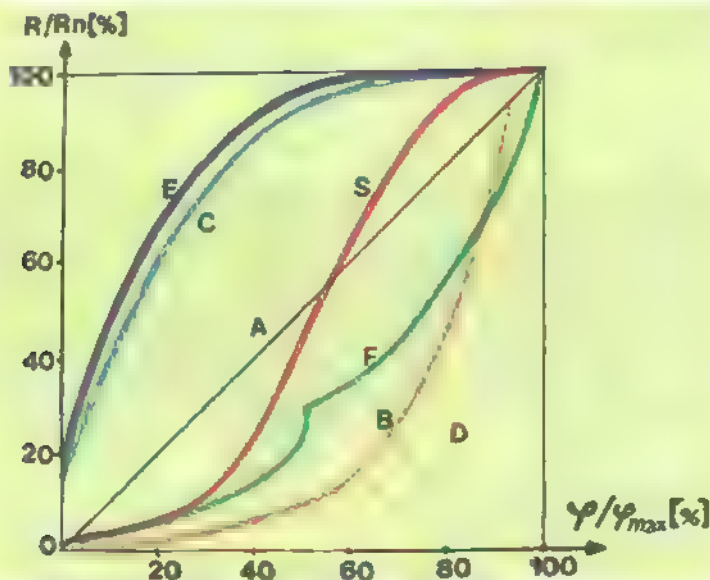


Fig. 1.28. Legile de variație ale potențiometrului: A — liniar; B — logaritmîc; C — invers logaritmîc; D — exponențial; E — invers exponențial; F — dublu logaritmîc; S — curbă în formă de S .

În funcție de modul de realizare al elementului rezistiv potențiometrele se clasifică în:

- potențiometre peliculare: cu peliculă metalică, cu peliculă de carbon, cu peliculă metalo-ceramică (*cermet*);
- potențiometre bobinate;

— fotopotențiometre;

După criteriile constructive potențiometrele se împart în:

— simple, echipate cu un singur element rezistiv și care pot fi: circulare (cu o singură rotație), reglabile continuu (de translație), multitură (rectilini, circulare, elicoidale), cu rotație continuă, cu întrerupător, cu comutator, cu comutator și întrerupător, potențiomtru miniatură (pentru cablaje electronice)

— multiple: tandem (cu două sau mai multe secțiuni comandate de un singur ax pe care sînt fixate cursoarele); multi-ax, combinate cu întrerupător, miniatură.

După modul de execuție, potențiometrele se construiesc în variantă închisă, deschisă, potențiometre ajustabile (rezistențe semivariabile, cu acțiune directă asupra cursorului, folosite în operații de reglaj a circuitelor electronice).

Potențiometrele peliculare au un suport dielectric din pertinax sau alumina; elementul rezistiv este o peliculă de grafit, oxizi metalici sau peliculă cermet.

Cursorul se realizează din bronz fosforos sau aliaj Ni, Cu și Zn, rezistent la uzură. Este prevăzut cu un mic cilindru din grafit care trebuie să realizeze contactul electric în orice poziție a cursorului și să nu lezeze pelicula rezistivă.

Fazele tehnologice de obținere a potențiometrelor sînt în principiu comune cu cele de obținere a rezistoarelor; apar însă repere mecanice specifice și operații de montare menite să asigure legătura electrică a cursorului cu exteriorul și protecția componentei.

În fig. 1.29 sînt date elementele constitutive ale unui potențiomtru ro-

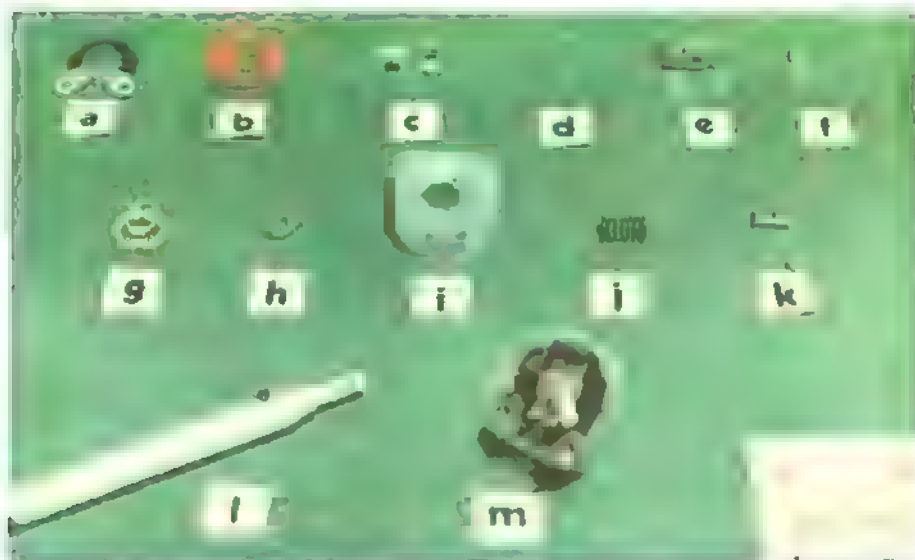


Fig. 1.29. Fazele tehnologice de fabricare a potențiometrelor peliculare: a — element rezistiv; b — suport din pertinax; c — coșă stîngă și dreaptă; d — capsă; e — coșă centrală; f — opritor; g — cursor; h — saibă metalică; i — capac de plastic; j — resort; k — pană; l — ax; m — produs final.

tativ cu peliculă de carbon. Elementul rezistiv, *a*, este obținut astfel: pe un suport circular de pertinax, prin pulverizare, se depune pelicula rezistivă de carbon, după o anumită lege de variație; la extremitățile suportului se depune argint pentru a permite plasarea cosei stîngă și dreaptă, *c*, care asigură contactele cu exteriorul ale elementului rezistiv. Acesta se plasează pe suportul de pertinax *b*; capsă *d*, cosa centrală *e* și opritorul *f* sînt plasate pe fața inferioară a suportului *b* prin bercluire împreună cu cursorul *g* plasat împreună cu șaiba *h*, pe fața superioară a suportului. Cu ajutorul acestor repere se asigură fixarea cursorului și limitarea cursei lui pe suprafața elementului rezistiv. Elementele următoare: capac de plastic, resortul *j*, pana *k* și axul *l* asigură protejarea potențiometrului și accesul la cursor; produsul finit este dat în imaginea *m*.

Diferite tipuri de potențiometre rotative peliculare fabricate în țară sînt date în fig. 1.30.

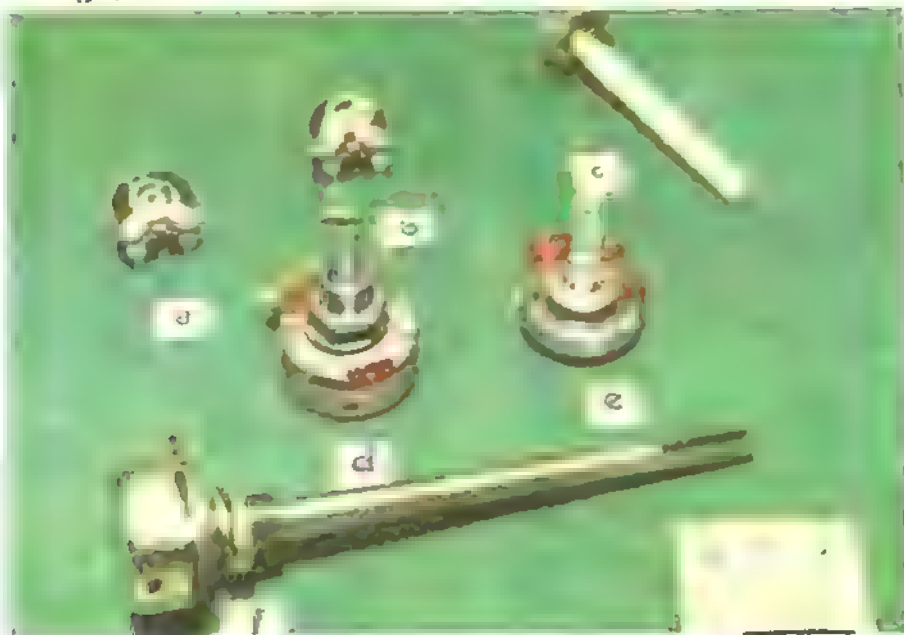


Fig. 1.30. Tipuri de potențiometre: *a* — potențiometru ajustabil cu peliculă de carbon și contact de grafit, $R_n > 1 \text{ k}\Omega$; *b* — potențiometru ajustabil cu cursor cu ambuțiu (contact metal-cărbune), $R_n < 1 \text{ k}\Omega$; *c* — potențiometru cu peliculă de carbon; *d* — potențiometru cermet simplu, cu variație logaritmică, fără întrerupător; *e* — potențiometru cermet simplu, cu variație logaritmică, cu întrerupător; *f* — potențiometru simplu, cu variație lineară, fără întrerupător.

Potențiometrele bobinate sînt folosite în circuite de putere și constau dintr-un suport dielectric (pertinax sau material ceramic) pe care se bobinează un fir conductor. Cursorul se realizează dintr-o lamelă de oțel călită care poartă la un capăt un element de grafit sau de bronz grafitat.

În tabelul 1.5 sînt date tipurile și caracteristicile tehnice esențiale ale potențiometrelor produse în țară la I.P.E.E. — Curtea de Argeș și I.E.I. — București.

Codul folosit pentru potențiometre este $P\text{-}xxxx$, iar toleranța este $\pm 20\%$ pentru $R_n \leq 250 \text{ k}\Omega$; $\pm 30\%$ pentru $R_n > 250 \text{ k}\Omega$.

Tabelul 1.5

Parametrii electrici importanți ai potențioanelor fabricate la
I.P.E.E. — Curtea de Argeș și I.E.I. — București

| Tip | Valoarea nominală | Toleranță \pm [%] | Putere [W] |
|---|--|---------------------------|----------------------|
| a) potențioanelor rotative cu peliculă de carbon — simplu-linear (A) legile B, C, D, E, F | 100 Ω ÷ 5 M Ω 1 k Ω ÷ 1 M Ω | 20; 30 | 0,25 0,125 |
| — simplu cu întrerupător linear logaritmic | 100 Ω ÷ 5 M Ω 1 k Ω ÷ 1 M Ω | — | 0,25 0,125 |
| — tandem linear logaritmic | 100 Ω ÷ 5 M Ω 1 k Ω ÷ 1 M Ω | — | 0,25 0,125 |
| b) potențioanelor cermet simple | 100 Ω ÷ 10 M Ω | 5; 10; 20; 30 | 1; 2; 4 |
| c) potențioanelor, ajustabile (rezistențe semireglabile) cu peliculă de carbon cu diferite legi de variație A, B, C, D, E | 100 Ω ÷ 100 M Ω | 20; 30 | 0,05; 0,1; 0,5 |
| d) potențioanelor ajustabile cermet | 10 Ω ÷ 1 M Ω | 20; 30 special: 10; 15 | 0,5; 1 |
| e) potențioanelor rectilinii linear B, C | 100 Ω ÷ 5 M Ω 1 k Ω ÷ 1 M Ω | 20; 30 | 0,25 0,125 |
| f) potențioanelor multiple | 150 k Ω ÷ 500 k Ω | 20; 30 | 0,1; 0,2; 0,25 |
| g) potențioanelor bobinate glazurate | 30 Ω ÷ 4,3 k Ω | 5; 10 | 15 ÷ 50 |
| h) potențioanelor bobinate de pânou | 4,7 k Ω ÷ 150 k Ω | 5; 10 | 3; 4; 6; 15 |

1.9. REZISTOARE NELINIARE

Pentru rezistoarele fixe sau variabile studiate pînă acum, între tensiunea U care li se aplică și curentul I care le străbate există o relație lineară (legea lui Ohm), v. fig. 1.31 a:

$$U = RI, \text{ sau } I = \frac{U}{R}.$$

Rezistoarele neliniare — termistoare, varistoare, fotorezistoare — folosesc proprietățile materialelor semiconductoare pentru a realiza o dependență neliniară între tensiune și curent.

Termistoarele sînt rezistoare a căror rezistență depinde puternic de temperatură; în funcție de modul de variație al rezistivității se obțin termistoare cu coeficient de temperatură negativ — NTC (rezistența scade cu creșterea temperaturii) sau pozitiv — PTC (rezistența crește cu temperatura), fig. 1.31 b. Pentru obținerea termistoarelor NTC se folosesc oxizi și elemente din grupa fierului: Fe, Cr, Mn, Ni; prin impurificare cu ioni străini aceste materiale se transformă în semiconductoare, în acest fel mărindu-se conductibilitatea și variația cu temperatura a rezistivității. Materialele folosite pentru obținerea termistoarelor cu coeficient de temperatură pozitiv sînt pe bază de titanat de bafiu (BaTiO_3) sau soluție solidă de titanat de bariu și titanat

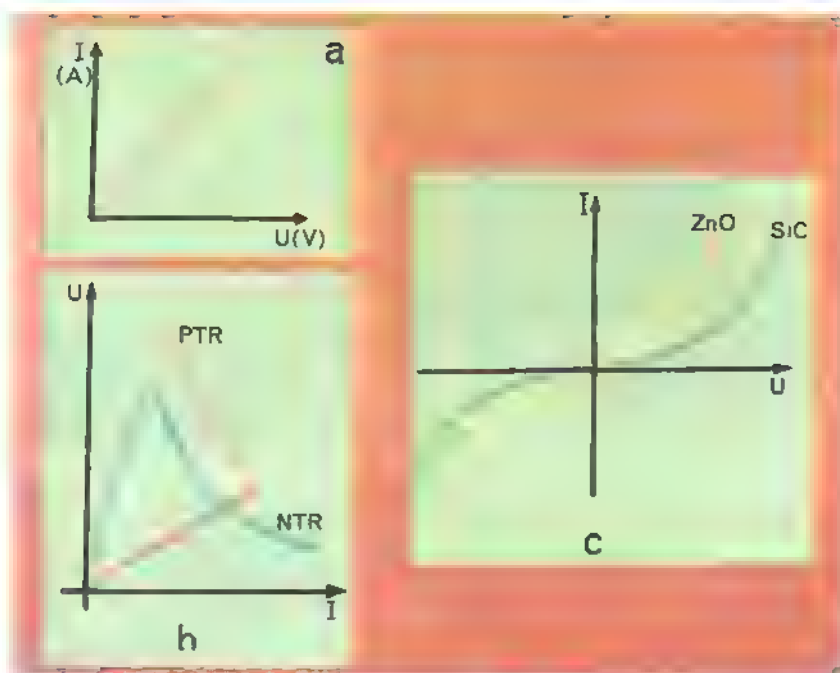


Fig. 1.31. Caracteristicile tensiune-curent pentru rezistoare: a) pentru rezistoare lineare; b) pentru termistoare; c) pentru varistoare.

de stronțiu; impurificate cu ioni tri-, tetra- sau pentavalenți se obțin materiale semiconductoare de tip n.

Materialele semiconductoare astfel obținute sînt amestecate cu un liant și li se aplică o tehnologie asemănătoare materialelor ceramice; termistoarele se pot obține sub formă de plachete, cilindri, discuri, filamente (protejate în tuburi de sticlă).



Fig. 1.32. Tipuri de termistoare: a — termistor disc capsulat; b — termistor disc protejat cu lac.

În fig. 1.32 sînt ilustrate două tipuri de termistoare NTC fabricate la I.P.E.E. — Curtea de Argeș:

a — termistor disc capsulat

b — termistor disc protejat cu lac

Termistoarele tip PTC nu se fabrică în țară.

Legile de variație ale rezistenței cu temperatura sînt exponențiale; astfel: — pentru termistoarele tip NTC există relația

$$R_T = A e^{\frac{B}{T}};$$

— pentru termistoare tip PTC:

$$R_T = A + C e^{\frac{B}{T}},$$

, unde *A*, *B*, *C* sînt constante de material iar *T* este temperatura în °K.

Principalele faze tehnologice de obținere a termistoarelor NTC sînt date în fig. 1.33:

a — obținerea discului termistorului prin presarea materialului (sub formă de pulbere amestecată cu liant), urmată de tratament termic,

b — metalizarea discului prin depunerea peliculei din argint pentru a permite lipirea terminalelor,

c — prin sudură se lipesc terminalele: urmează protejarea termistorului astfel obținut cu un strat de lac și marcarea.

Marcarea valorii rezistenței nominale se face în clar sau în codul culorilor specificat în catalog (prin benzi colorate sau prin colorarea stratului de protecție).

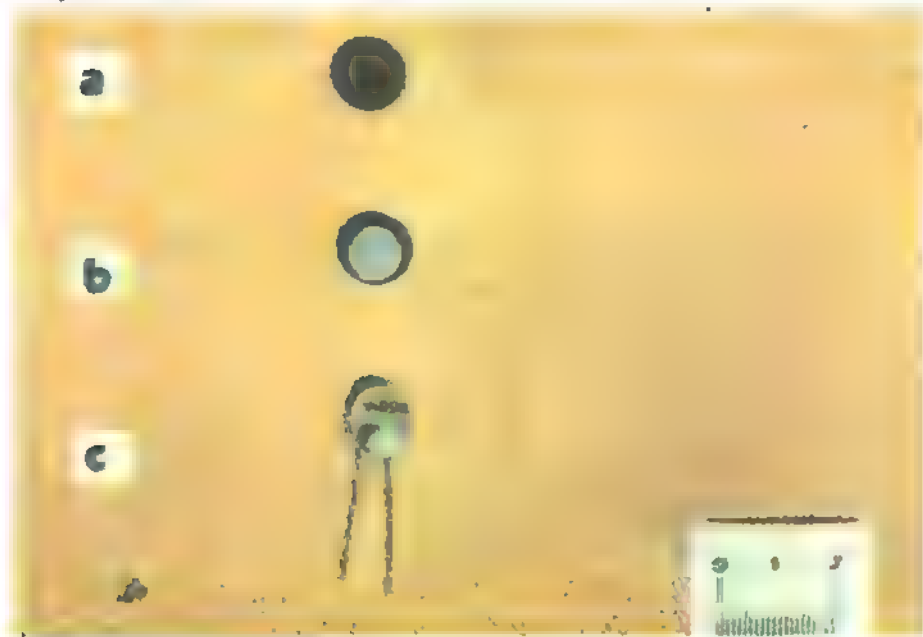


Fig. 1.33. Fazele tehnologice de fabricare a termistoarelor: *a* — disc obținut prin presare; *b* — disc metalizat; *c* — disc cu terminalele lipite, protejat cu lac și marcat.

Termistoarele cu coeficient de temperatură negativ sînt utilizate ca elemente neliniare pentru stabilizarea tensiunii sau curentului, pentru compensarea variației cu temperatura a altor elemente și ca traductor de temperatură.

O schemă simplă care demonstrează utilitatea termistorului în circuite care necesită tensiuni constante cu temperatura este ilustrată în fig. 1.34: se observă că tensiunea U rezultată ca suma tensiunilor U_1 și U_2 este constantă într-un domeniu al curentului I , respectiv într-un domeniu de temperatură.

Termistoarele PTC se folosesc ca traductoare de temperatură, stabilizatoare și limitatoare de curent, în aplicații ce realizează protecția la scurtcircuit sau supratensiuni.

Principalele caracteristici ale termistoarelor NTC fabricate în țară, sînt date în tabelul 1.6.

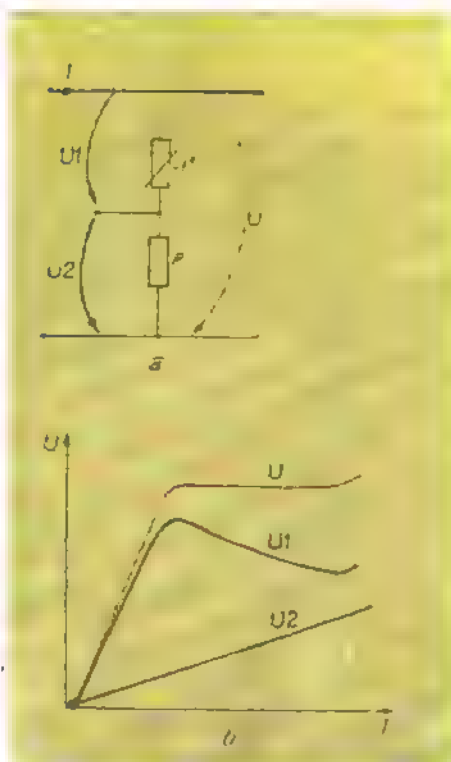


Fig. 1.34. Stabilizarea tensiunii cu ajutorul termistoarelor: a) schema de principiu; b) însumare grafică.

Tabelul 1.6

Tipurile și caracteristicile principale ale termistoarelor fabricate în I.P.E.E. — Curtea de Argeș

| Caracteristici | Domeniu de variație |
|---------------------------|--|
| Tip | a) termistoare de uz general, disc neprotejat b) termistoare de uz general, disc protejat c) termistoare de uz general încapsulate |
| Serie | TG |
| Valoarea nominală | $10 \Omega \div 680 \Omega$ (valoarea rezistenței termistorului la $t=25^\circ\text{C}$) |
| Toleranța | $\pm 20\%$ |
| Puterea, P_{\max} | $0,5 \text{ W} \div 1 \text{ W}$ |
| Coeficient de temperatură | $[-3,3 \div -4,1] \text{ } \%/^\circ\text{C}$ |

Varistoarele sînt rezistoare a căror rezistență este determinată de tensiunea aplicată la bornele lor. Materialele cele mai utilizate pentru obținerea varistoarelor sînt carbura de siliciu (SiC) și oxidul de zinc (ZnO); ca-

racteristica curent-tensiune pentru varistoare este ilustrată în fig. 1.31 c.

Fazele tehnologice ale fabricării varistoarelor sînt ilustrate în figura 1.35: materialul de bază (carbura de siliciu) sub formă de pulbere, amestecat cu un liant, este supus presării, sinterizării și unui proces de îmbătrînire care constă în supunerea baghetei sau discurilor formate unui regim electric în impulsuri ce depășește tensiunea nominală de lucru; acest proces este esențial în formarea proprietăților conductoare specifice varistoarelor.

Bagheta de carbură de siliciu astfel obținută fig. 1.35 a, este metalizată la capete, fig. 1.35 b, pentru a permite conectarea terminalelor și tratată termic; urmează lipirea terminalelor, vopsirea și marcarea varistorului (în clar), fig. 1.35 c.



Fig. 1.35. Fazele tehnologice de fabricare ale varistoarelor: a — baghetă de carbură de siliciu; b — baghetă metalizată la capete; c — produs finit.

Relația curent-tensiune a unui varistor este de forma:

$$I = K_1 U + K_2 U^n$$

unde K_1 și K_2 sînt constante, $n > 1$. Relația de mai sus se poate aproxima de relațiile:

$$I = KU^\alpha \quad \text{sau} \quad U = CI^\beta,$$

unde K este o constantă ce fixează tensiunea de lucru a varistorului și depinde de forma, dimensiunile varistorului și de tehnologia de fabricație; α și β sînt coeficienți de neliniaritate ($\alpha = 5$ pentru SiC; $\alpha \approx 25$ pentru ZnO).

Dacă tensiunii aplicate i se inversează polaritatea, curentul își schimbă sensul; se definește A — asimetria curenților — ca fiind mărimea ce caracterizează diferența dintre curenții care străbat varistorul la schimbarea polarității tensiunii aplicate.

Varistoarele sînt utilizate pentru protecția contactelor de rupere, împotriva supratensiunilor pentru protecția diferitelor componente sau circuite electronice, sînt folosite pentru stabilizarea tensiunii și curentului, în circuite analogice și de impulsuri, în circuite care lucrează în modulație de amplitudine și frecvență etc.

Utilizarea varistoarelor ca stabilizatoare de tensiune este ilustrată în fig. 1.36: cu cît neliniaritatea caracteristicii curent-tensiune a varistorului este mai pronunțată, cu atît variația tensiunii de ieșire ΔU_2 este mai mică (stabilizare mai bună) atît la variațiile tensiunii de alimentare ΔU_1 (figura 1.36 a) cît și la variațiile sarcinii (fig. 1.36 b).

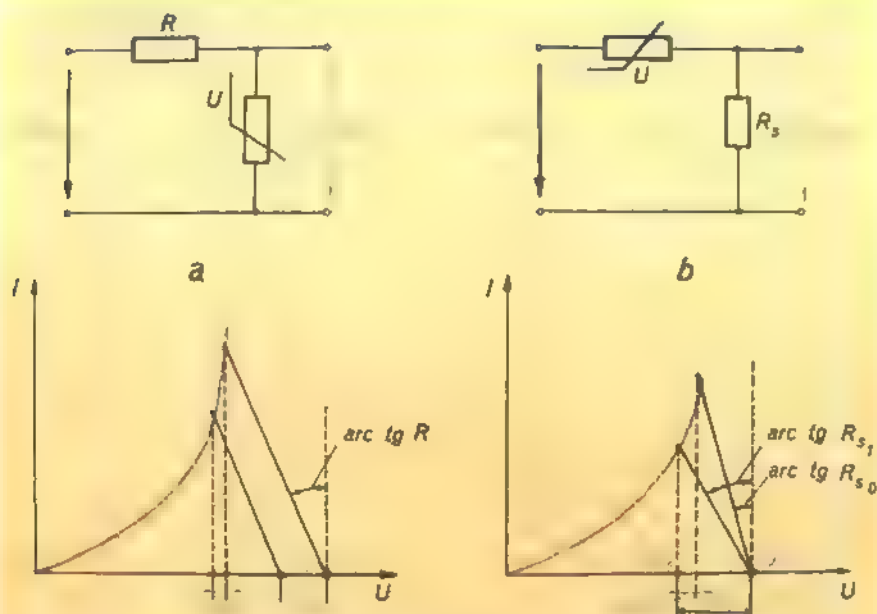


Fig. 1.36. Utilizarea varistoarelor ca stabilizatoare de tensiune: a) stabilizare la variația tensiunii de alimentare; b) stabilizare la variația sarcinii.

Varistoarele fabricate la I.P.E.E. — Curtea de Argeș sînt:

- de joasă tensiune, de uz general, seria VG
- de joasă tensiune pentru protecția contactelor, seria VP
- de înaltă tensiune, seria VT.

Caracteristicile principale ale acestor varistoare sînt date în tabelul 1.7.

Fotorezistoarele sînt rezistențe dependente de fluxul luminos și au la bază efectul fotoelectric intern în semiconductoare.

Principalele caracteristici ale fotorezistoarelor sînt:

— rezistența la întuneric, R_0 , care reprezintă valoarea rezistenței la iluminarea nulă

— sensibilitate la fluxul luminos.

Fotorezistoarele au fost realizate inițial pe bază de seleniu cristalin; o largă răspîndire o au, la ora actuală, fotorezistoarele din PbS și CdS; nu se fabrică în țară.

Tabloul 1.7

Caracteristicile principale ale varistoarelor fabricate la I.P.E.E. — Curtea de Argeș

| Tipul varistorului | Caracteristici |
|---|---|
| 1) varistoare disc, neprotejate fără terminale; 2) varistoare disc, protejate prin lăcuire | — tensiunea nominală 48 V — tensiunea repetitivă maximă 145 V — asimetria curenților A: max. 10% — coeficient de temperatură α_T : max. 0,8%/°C — puterea disipată nominală: $P_n=0,4$ W |
| 3) varistoare cilindrice de înaltă tensiune | — tensiunea nominală: 680÷1350 V — toleranța U_{nom} : ± 10 ; $\pm 20\%$ — curent nominal: $I_n \leq 10$ mA — coeficient de neliniaritate ≥ 4 — puterea disipată nominală: $P_n=0,8$ W |
| 4) varistoare disc de uz general | — tensiunea nominală $U_n=27$ V — curent nominal $I_n=3$ mA — toleranța tensiunii nominale $\pm 20\%$ — puterea nominală $P_n=0,8$ W — asimetria curenților A: $\leq 10\%$ — coeficient de neliniaritate ≥ 3 — coeficient de temperatură $\alpha_T \leq 0,8\%/^{\circ}\text{C}$ |

CONDENSATOARE

2.1. CAPACITATEA UNUI CONDENSATOR; CLASIFICAREA CONDENSATOARELOR

Condensatorul este o componentă pasivă care, alături de rezistor, este utilizată frecvent în circuitele electronice [5], [6], [29].

Dacă unui condensator i se aplică o tensiune continuă U , acesta se va încărcă cu o sarcină Q , raportul dintre sarcina Q și tensiunea U fiind o mărime constantă și caracteristică pentru condensatorul considerat; acest raport se numește capacitatea condensatorului

$$C = \frac{Q}{U}$$

În regim armonic, condensatorul este componenta pentru care, dacă i se aplică o tensiune variabilă în timp u_c , între tensiunea aplicată și curentul i care străbate condensatorul există relația:

$$u_c = \frac{1}{C} \int i \, dt,$$

C fiind capacitatea condensatorului. Condensatorul de capacitate C introduce în circuit o reactanță capacitivă măsurată în Ω , $X_c = \frac{1}{\omega C}$, iar defazajul între tensiune și curent este de 90° , tensiunea fiind defazată în urmă curentului (figura 2.1). Unitatea de măsură pentru capacitate este faradul, simbol F; se folosesc frecvent submultiplii săi:

$$1 \, \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}; \quad 1 \, \text{nF} = 10^{-9} \text{ F}; \quad 1 \, \text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Constructiv, condensatorul este alcătuit din două suprafețe metalice numite armături între care se află un mediu dielectric de permitivitate ϵ (constanta dielectrică de material). Pentru un condensator *plan*, capacitatea C este dată de relația:

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

unde: ϵ_0 = permitivitatea dielectrică absolută a vidului
 ϵ = permitivitatea absolută a dielectricului condensatorului

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \text{permitivitatea relativă a dielectricului}$$

S = suprafața armăturilor plane
 d = distanța dintre armături

Pentru un condensator *cilindric*, valoarea capacității se determină cu ajutorul relației:

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{b}{a}} = \frac{2\pi\epsilon_0 \epsilon_r l}{\ln \left(\frac{b}{a} \right)}$$

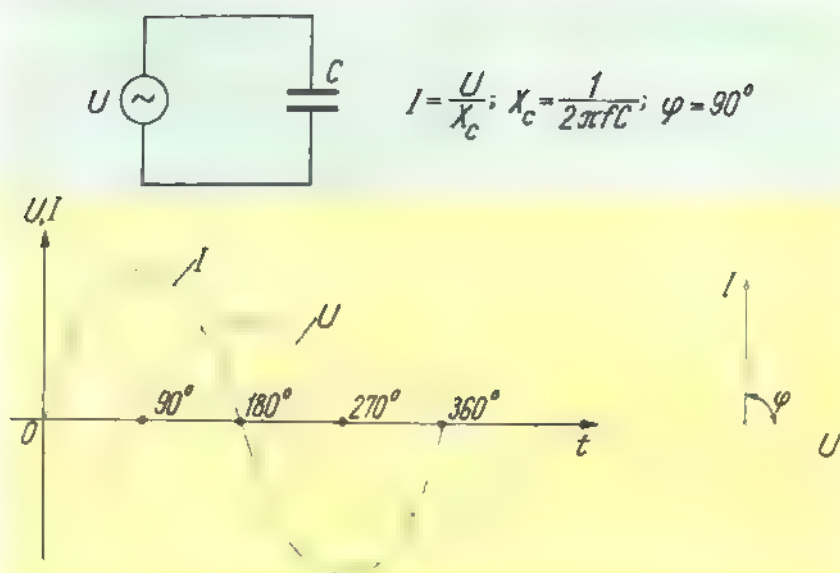


Fig. 2.1. Relația tensiune-curent pentru un condensator de capacitate C .

unde ϵ_0 , ϵ_r , ϵ , au semnificațiile de mai sus,

- l = lungimea cilindrului
- a = raza cilindrului interior
- b = raza cilindrului exterior

Principal, cele două tipuri de condensatoare sînt ilustrate în fig. 2.2.

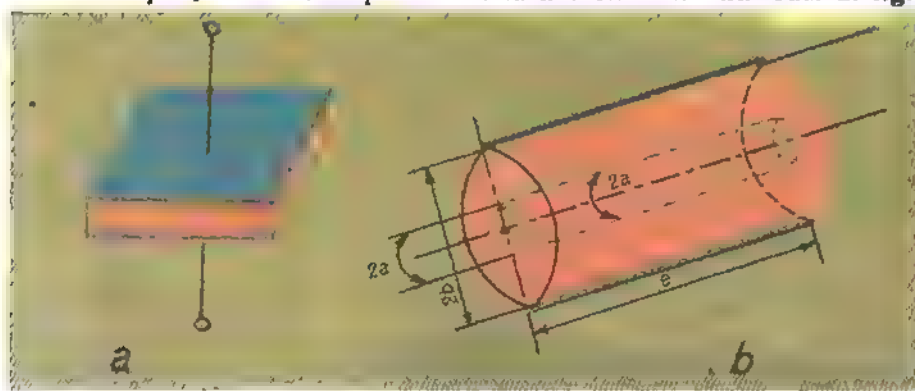


Fig. 2.2. Construcția principală a condensatorului: a) condensator plan; b) condensator cilindric.

Din relațiile date se observă importanța permitivității dielectricului în obținerea unor condensatori de capacitatea dorită; un condensator cu capacitatea $C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$, deci cu armăturile plane plasate în vid, va avea o capaci-

tate de ϵ_r , mai mare decît C_0 dacă între armături se va plasa un dielectric caracterizat prin permitivitatea absolută ϵ (sau prin cea relativă, $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$)

$$C = \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_r C_0$$

În cîmpuri electrice puternice, materialul dielectric își pierde proprietățile izolante (datorită unor fenomene interne specifice crește curentul de conducție în dielectric); fenomenul se numește străpungerea dielectricului. Valoarea intensității cîmpului electric la care se produce acest fenomen se numește rigiditate dielectrică și se măsoară în kV/mm.

Proprietățile unor dielectrici uzuali sînt date în tabelul 2.1.

Proprietățile unor dielectrici uzuali

Tabelul 2.1

| Materialul dielectric | Permitivitatea relativă | Rigiditatea dielectrică kV/mm |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| vid | 1,00000 | 0,8 |
| aer | 1,00054 | |
| apă | 78 | — |
| hîrtie | 3,5 | 14 |
| mică roșie | 5,4 | 160 |
| porțelan | 6 | 4 |
| sticlă de cuarț | 3,8 | 8 |
| bachelită | 4,8 | 12 |
| polietilenă | 2,3 | 50 |
| poliester | 2,6 | 25 |
| teflon | 2,1 | 60 |

Condensatoarele se pot clasifica după mai multe criterii: după natura dielectricului, din punct de vedere constructiv, al domeniului de frecvență, după domeniul de utilizare.

Din punct de vedere constructiv există:

- a) condensatoare fixe, care-și mențin constantă valoarea capacității nominale în tot timpul funcționării;
- b) condensatoare reglabile și
- c) condensatoare variabile (figura 2.3).

Condensatoarele reglabile (denumite și „semivariabile”, „ajustabile” sau „trimere”) se caracterizează prin faptul că valoarea capacității lor poate fi reglată (de regulă ocazional, la punerea în funcție sau la verificări periodice), în limite reduse.

Condensatoarele variabile sînt condensatoare a căror capacitate poate și trebuie să fie modificată frecvent între anumite limite relativ largi impuse de funcționarea circuitelor electronice (de exemplu condensatoare de acord pentru radioreceptoare).

În funcție de natura dielectricului, condensatoarele pot fi (fig. 2.3):

- cu dielectric gazos (aer, vid, gaze electronegative),
- cu dielectric lichid (ulei),
- cu dielectric solid organic și anorganic,
- cu dielectric peliculă de oxizi metalici.

În categoria condensatoarelor cu dielectric gazos intră condensatoarele reglabile și variabile cu aer; cînd condensatoarele variabile sînt destinate funcționării în regim de tensiuni ridicate (de ordinul kilovoltilor), se folosesc ca dielectrici gaze electronegative sau incinte vidate.

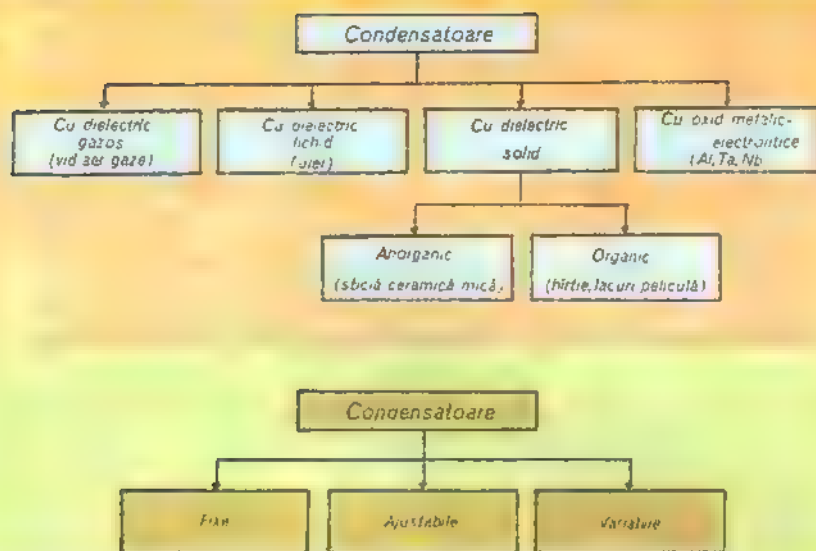


Fig. 2.3. Clasificarea condensatoarelor.

Condensatoarele cu dielectric lichid (ulei mineral sau ulei de transformator) sînt mai rar fabricate și folosite la ora actuală.

Condensatoarele cu dielectric solid anorganic au ca material dielectric sticla, mica și materialele ceramice. Pentru condensatoare cu dielectric solid organic se folosesc hîrtia, pelicule sintetice nepolare (polistirenul, teflonul, politetrafluoretilena, polipropilena) și pelicule sintetice polare (polietilente-reftalat, policarbonat, rășină poliamidică).

O categorie aparte o constituie condensatoarele electrolitice care au dielectricul format dintr-o peliculă de oxid (Al_2O_3 , Ta_2O_5 , TiO_2); cei mai utilizați sînt oxizii de aluminiu și tantal. Cîteva dintre tipurile de condensatoare sînt ilustrate în fig. 2.4.



Fig. 2.4. Diferite tipuri de condensatoare.

2.2. PARAMETRII CONDENSATOARELOR

Principalii parametri electrici ai condensatoarelor sînt:

— capacitatea nominală, C_n [F]: reprezintă valoarea capacității condensatorului care trebuie realizată prin procesul tehnologic și care este înscrisă pe corpul acestuia. Condițiile de temperatură și frecvență la care se măsoară capacitățile nominale sînt precizate de obicei în catalogul fabricii producătoare.

— toleranța, t , [%] reprezintă abaterea maximă a valorii reale a capacității față de valoarea ei nominală. Pentru condensatoare cu $C_n \leq 1 \mu\text{F}$ capacitatea nominală respectă valorile normalizate din seriile E—6, E—12, E—24, E—48, cu toleranțele corespunzătoare acestor serii (v. fig. 1.3). Pentru $C_n > 1 \mu\text{F}$, valorile nominale și toleranțele depind de firma producătoare. Pentru condensatoarele electrolitice se dau de obicei toleranțe nesimetrice: (0%, +50%), (0%, +80%), (—10%, +30%), (—10%, +50%), (—10%, +100%), (—20%, +80%).

— tensiunea nominală, U_n [V], este tensiunea continuă maximă sau tensiunea alternativă eficace maximă care poate fi aplicată continuu la terminalele condensatorului, în gama temperaturilor de lucru. Valorile tensiunii nominale nu sînt normalizate; uzuale sînt următoarele valori: 6, 12, 16, 25, 63, 70, 100, 125, 250, 350, 450, 500, 650, 1 000 V.

— rezistența de izolație, R_{iz} [Ω], este definită ca raportul dintre tensiunea continuă aplicată unui condensator și curentul care-l străbate, la 1 min după aplicarea tensiunii; în funcție de tipul condensatorului (deci de natura dielectricului), rezistența de izolație poate varia între 100 M Ω și 100 G Ω . Condițiile în care se efectuează măsurătorile (tensiune, temperatură, umiditate) sînt specificate în catalog. Pentru condensatoarele cu $C_n > 0,1 \mu\text{F}$ se indică în locul rezistenței de izolație, constanta de timp $\tau = R_{iz} C_n$ (care depinde de proprietățile electrice ale dielectricului). Pentru condensatoarele electrolitice parametrul care interesează este curentul de fugă, I_f , care reprezintă curentul ce trece prin condensator cînd acestuia i se aplică o tensiune continuă la terminale, curent măsurat după un timp t (1 min, 5 min) de la aplicarea tensiunii continue.

— tangenta unghiului de pierderi, $\text{tg } \delta$ [—]. Într-un condensator, din cauza pierderilor în dielectric și în rezistența nenulă a armăturilor și terminalelor se disipă putere activă. Tangenta unghiului de pierderi, $\text{tg } \delta$, se definește ca raportul dintre puterea activă, P_a , care se disipă pe condensator și puterea reactivă, P_r , a acestuia (măsurate la frecvența la care se măsoară și capacitatea nominală). Un condensator este cu atît mai bun cu cît puterea activă disipată în el este mai mică.

Dacă considerăm o schemă echivalentă în care pierderile în condensator sînt reprezentate fie prin rezistența r (în schema echivalentă serie), fie prin rezistența R_p (în schema echivalentă paralel), v. fig. 2.5, construind diagrama fazorială tensiune—curent se observă că unghiul de defazaj φ dintre tensiunea aplicată și curentul care parcurge condensatorul este mai mic decît 90° ($\varphi = 90^\circ$ în cazul condensatorului ideal, fără pierderi). Complementul unghiului de defazaj este unghiul δ — unghiul de pierderi. Tangenta unghiului de pierderi, pentru cele două scheme echivalente este dată de relațiile:

$$\text{tg } \delta = \frac{I_r}{U_c} \text{ și } \text{tg } \delta = \frac{I_R}{I_C},$$

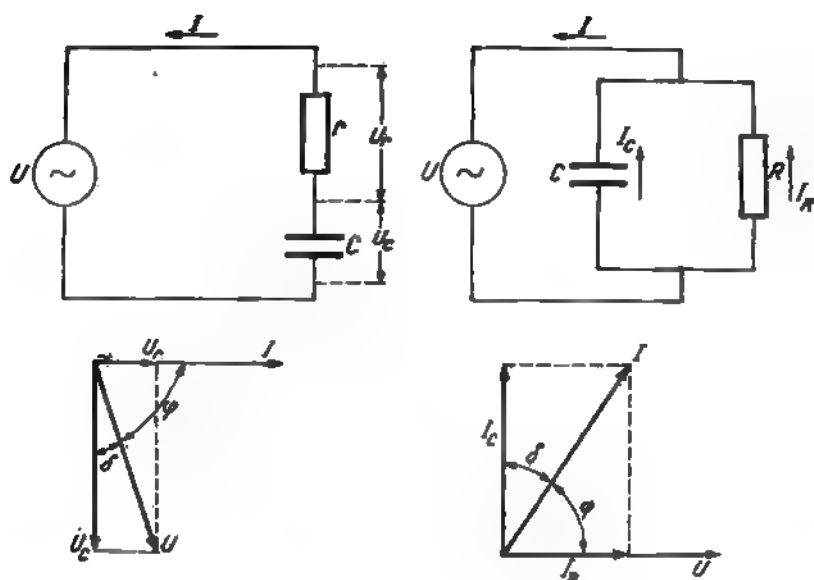


Fig. 2.5. Definirea tangentei unghiului de pierderi.

sau poate fi pusă sub forma raportului dintre puterea activă și puterea reactivă a condensatorului.

Mărimea tangentei unghiului de pierderi depinde de natura dielectricului și de procesul tehnologic al condensatorului considerat; este de dorit ca această mărime să fie cât mai mică. În tabelul 2.2 sînt date valorile tipice ale $\tan \delta$ pentru cîteva tipuri de condensatoare.

— rigiditatea dielectrică reprezintă tensiunea maximă continuă pe care trebuie să o suporte condensatorul un timp minim (de obicei 1 minut) fără să apară străpungeri sau conturnări.

— intervalul temperaturilor de lucru ($T_{min} - T_{max}$) reprezintă limitele de temperatură între care condensatorul funcționează timp îndelungat. Natura dielectricului determină acest interval care poate fi:

— (-10°C ; $+70^{\circ}\text{C}$) pentru condensatoarele cu polistiren și cu hîrtie cerată;

— (-40°C ; $+85^{\circ}\text{C}$) pentru condensatoarele cu mylar, ceramice, cu hîrtie uleiată;

— (-25°C ; $+70^{\circ}\text{C}$) pentru condensatoare electrolitice,

— (-40°C ; $+125^{\circ}\text{C}$) pentru condensatoarele electrolitice și cele cu tantal.

— coeficientul de variație a capacității cu temperatura, este definit de relația:

$$\alpha_C = \frac{1}{C} \frac{dC}{dT} [1/^{\circ}\text{C}]$$

În cazul unei variații lineare, expresia lui devine:

$$\alpha_C = \frac{1}{C_0} \frac{C - C_0}{T - T_0} [1/^{\circ}\text{C}]$$

Valorile $\operatorname{tg} \delta$ pentru cîteva tipuri de condensatoare

| Tipul condensatorului | $\operatorname{tg} \delta$ | Condiții de măsură |
|------------------------------------|----------------------------|---|
| ceramic și multistrat tip I | $10 \cdot 10^{-4}$ | $C_0 = 1 \text{ nF}$ $f = 1 \text{ MHz}$ |
| ceramic și multistrat tip II | $35 \cdot 10^{-4}$ | |
| cu polistiren (stiroflex) | $5 \cdot 10^{-4}$ | $C_0 = 1 \text{ nF}; f = 1 \text{ KHz}$ |
| cu polietilentereftalat (mylar) | $10 \cdot 10^{-3}$ | |
| cu hîrtie | 10^{-2} | $f = 1 \text{ KHz}$ |
| electrolitic miniatură | 0,25 | $f = 100 \text{ Hz}$ |
| electrolitic cu tantal | 0,08 | $f = 50 \text{ Hz}$ |

unde C_0 este valoarea capacității la temperatura T_0

C este valoarea capacității la temperatura T .

Coeficientul de temperatură este exprimat tot mai frecvent în „ppm/°C” — părți pe milion pe grad Celsius — definit astfel:

$$\alpha_C = \frac{C - C_0}{C_0(T - T_0)} \cdot 10^6 [\text{ppm}/^\circ\text{C}],$$

unde C , C_0 , T și T_0 au aceleași semnificații ca în relația de mai sus.

— coeficientul de variație al capacității sub acțiunea unor anumiți factori (cum ar fi: umiditatea, tensiunea aplicată, durată de păstrare etc.), K_p , este dat de relația:

$$K_p = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100 [\%]$$

unde C_1 reprezintă valoarea condensatorului în condiții normale de funcționare iar C_2 = valoarea la care ajunge capacitatea condensatorului sub acțiunea factorului p .

2.3. SIMBOLIZAREA ȘI MARCAREA CONDENSATOARELOR

Reprezentarea convențională a condensatoarelor se face conform STAS 11381/7-80 și este ilustrată în figura 2.6, unde:

- a — condensator (în general)
- b — condensator (în general), simbol tolerat
- c — condensator de trecere
- d — condensator de trecere, simbol tolerat
- e — condensator de trecere, simbol nestandardizat
- f — condensator electrolitic
- g — condensator electrolitic, simbol tolerat
- h — condensator electrolitic, simbol nestandardizat













| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| a | b | c | d |
|  |  |  |  |
| e | f | g | h |
|  |  |  |  |
| i | j | k | l |

Fig. 2.6. Reprezentarea convențională a condensatoarelor.

- i* — condensator variabil
- j* — condensator variabil, simbol tolerat
- k* — condensator semireglabil, semiajustabil, trimer
- l* — condensator semireglabil, semiajustabil, trimer, simbol tolerat.

Condensatoarele sînt marcate în clar sau codificat, prin culori (inele, benzi sau puncte), prin simboluri alfanumerice, sau cod literal, normalizate internațional sau, uneori, specifice unui anumit producător. Indiferent de sistemul de marcare adoptat, caracteristicile ce se înscriu pe corpul condensatorului sînt:

- a) în mod obligatoriu, pe orice tip de condensator:
 - capacitatea nominală C_n , cu unitatea de măsură (în clar, cod de culori sau literal);
 - toleranța valorii nominale: în clar (în % sau în pF dacă $C_n \leq 10$ pF), în cod de culori sau literal;
- b) în mod obligatoriu, pe unele tipuri de condensatoare:
 - polaritatea bornelor (numai la condensatoarele electrolitice), în clar;
 - terminalul conectat la armătura exterioară (numai la condensatoarele electrolitice sau cu hîrtie), în clar;
 - tensiunea nominală U_n (la condensatoarele electrolitice, cu hîrtie, cu film plastic) în clar, cod literal sau de culori;
 - coeficient de temperatură al capacității (la condensatoarele ceramice) în cod de culori sau literal;
- c) în mod facultativ, în funcție de producător se poate marca: firma, data fabricației (an, lună), codul condensatorului (specific firmei), frecvența de lucru etc.

Marcarea în codul culorilor, este aplicată mai ales condensatoarelor ceramice. Citirea indicațiilor colorate pentru condensatoarele ceramice tip „disc” sau „plachetă” se face începînd de la terminale; pentru condensatoarele ceramice tip „tubular” citirea se face de la inelul sau banda mai groasă sau mai apropiată de extremitatea corpului condensatorului. Codul culorilor este dat în tabelul 2.3, iar ordinea de citire a culorilor și semnificația lor în figura 2.7 (pentru condensatoare ceramice) și figura 2.8 (pentru condensatoare cu tantal și cu stirolflex).

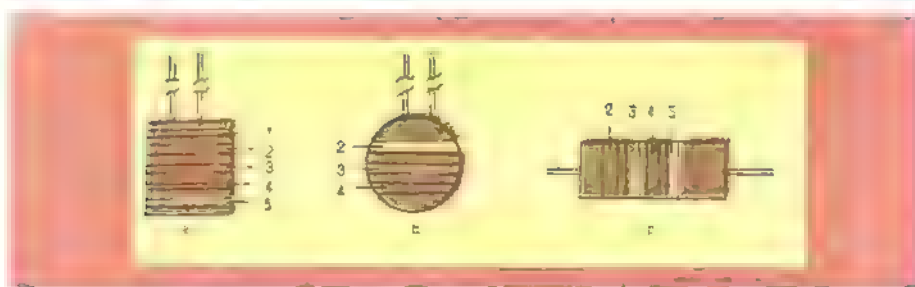


Fig. 2.7. Marcarea în codul culorilor pentru condensatoare ceramice: a, c) marcarea completă; b) marcarea numai a valorii nominale: 1 — coeficient de variație cu temperatura, 2 — prima cifră semnificativă, 3 — a doua cifră semnificativă, 4 — coeficient de multiplicare, 5 — toleranța.

Codul culorilor pentru marcarea condensatoarelor

Tabelul 2.3.

| Culoarea | Cifră semnificativă | Factor de multiplicare | | Toleranțe | | Coeficient de temp. [ppm/°C] | Tensiunea nominală | |
|------------|---------------------|------------------------|--------------------|-----------|--------------|------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | condens. ceramice | condens. cu hirtie | [pF] | [%] | | condens. tantal | condens. stirolflex |
| | | | | C < 10 pF | C > 10 pF | | | |
| negru | 0 | 1 | 1 | ±2 | ± 20 | 0 | 10 | 630 |
| maro | 1 | 10 | 10 | ±0,1 | ± 1 | — 33 | 1,6 | — |
| roșu | 2 | 10 ² | 10 ² | ±0,25 | ± 2 | — 75 | 4 | 160 |
| portocaliu | 3 | 10 ³ | 10 ³ | — | ± 2,5 | — 150 | 40 | — |
| galben | 4 | 10 ⁴ | 10 ⁴ | — | ±100 | — 220 | 6,3 | 63 |
| verde | 5 | 10 ⁵ | — | ±0,5 | ± 5 | — 330 | 16 | 250 |
| albastru | 6 | — | — | — | — | — 470 | — | 25 |
| violet | 7 | — | — | — | — | — 750 | — | — |
| gri | 8 | 10 ³ | — | — | — 20 + 30 | — 2 200 | 25 | — |
| alb | 9 | 10 ¹ | — | ±1 | ± 10 | + 120 | 2,5 | — |
| auriu | — | — | 10 ⁻¹ | — | — | + 100 | — | — |
| argintiu | — | — | — | — | — | — | — | — |

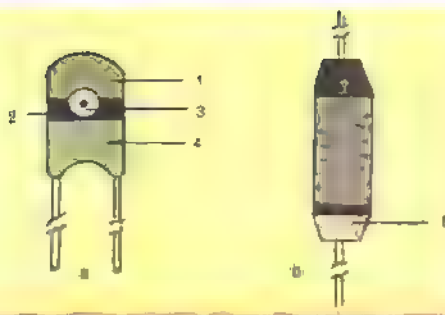


Fig. 2.8. a) Marcarea în codul culorilor a condensatoarelor electrolitice cu tantal: 1 — prima cifră semnificativă, 2 — a doua cifră semnificativă, 3 — factor de multiplicare, 4 — tensiunea nominală; b) marcarea în cod a tensiunii nominale la condensatoarele cu stirollex: 1 — tensiunea nominală.

2.4. CONDENSATOARE FIXE

2.4.1. CONDENSATOARELE CERAMICE

Condensatoarele ceramice folosesc ca dielectric o ceramică formată dintr-un amestec de oxizi, silicați, titanați și zirconați ai diferitelor metale, caolin, talc etc. În funcție de compoziție, ceramica dielectrică obținută poate fi:

a) ceramica de tip I, care are la bază titanați de magneziu și calciu cu permitivitatea $\epsilon_r = 5 \div 200$. Condensatoarele realizate cu acest tip de dielectric au o variație lineară finită a capacității cu temperatura și tg δ mic.

b) ceramica de tip II pe bază de zirconați și titanați de bariu sau stronțiu, are permitivitatea foarte mare, ajungând pînă la 15 000, dar coeficientul de variație al capacității cu temperatura este nedefinit și tg δ mai mare (cu cel puțin un ordin de mărime față de ceramica de tip I).

c) ceramica de tip III are la bază compoziții ale titanatului de bariu care pot fi transformate în semiconductor prin tratare termică, după care prin oxidare se poate reface stratul dielectric la suprafața materialului pe o adîncime foarte mică; permitivitatea obținută este foarte mare (100 000, 200 000). Condensatoarele ceramice tip III nu se fabrică în țară.

Din punct de vedere constructiv, condensatoarele ceramice pot fi *tubulare*, *plachetă* sau *disc*. Procesul tehnologic de obținere a acestora cuprinde următoarele principale etape:

— ceramica dielectrică este obținută prin procesul tehnologic propriu materialelor ceramice: substanțele constituente sînt dozate, amestecate, măcinate; pulberea obținută în amestec cu lianți specifici, prin presare, laminare sau turnare, urmată de tratament termic, capătă forma de disc, plachetă sau tub ceramic de dimensiuni diferite (determinate de valoarea nominală a capacității și de tensiunea nominală).

— armăturile din argint sînt depuse pe cele două părți ale discului sau plachetei, sau în interiorul și exteriorul tubului prin serigrafie (pentru dis-

curi), depunere manuală (pentru plachete) sau cu ajutorul unei mașini automate (pentru tuburi); fixarea peliculei de argint pe suportul ceramic se face prin tratament termic

- lipirea terminalelor se face automat
- protejarea condensatorului astfel format se realizează prin acoperirea cu un strat de rășină termodură (pentru discuri și plachete) sau de vopsea protectoare (pentru tuburi); urmează marcarea în clar sau în codul culorilor.

În fig. 2.9 sînt ilustrate cele trei tipuri constructive de condensatoare,

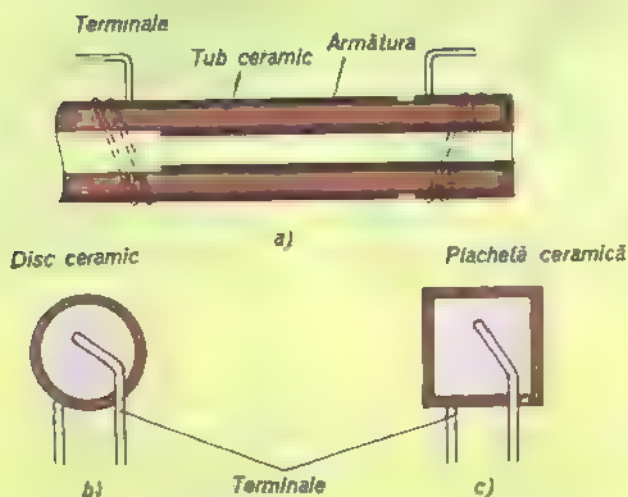


Fig. 2.9. Condensatoare ceramice: a) secțiune prin condensatorul ceramic tubular; b) condensatorul ceramic disc neprotejat; c) condensatorul ceramic plachetă neprotejat.

iar în fig. 2.10 sînt prezentate produsele finite: condensatoare ceramice de diferite valori nominale, marcate în clar și în cod.

Condensatoarele ceramice multistrat sînt caracterizate printr-o mare capacitate specifică (capacitatea pe unitatea de volum); avînd dimensiuni mici și valori nominale în limite largi (de la 3,3 pF—1 μ F) tind să înlocuiască celelalte tipuri de condensatoare folosite în circuitele electronice.

Materialul dielectric este o pastă ceramică de tip I sau II care, prin laminare pe suport, permite obținerea unor folii ceramice foarte subțiri de dimensiuni relativ mari față de dimensiunile unui condensator multistrat finit și care va contribui la formarea a n componente identice. Pe această folie se depune prin serigrafie o configurație de n pelicule de argint-paladiu care constituie armătura stîngă a condensatoarelor; pe o altă folie, se depune o configurație similară care constituie armătura dreaptă a condensatoarelor ș.a.m.d. După suprapunerea acestor folii în număr diferit de straturi (în funcție de valoarea nominală a capacității care trebuie realizată) și pre-



Fig. 2.10. Condensatoare ceramice

sarea lor, urmează decuparea „cip”-urilor condensatoarelor și fixarea proprietăților lor prin tratament termic. Prin metalizarea la extremitățile cipului se asigură o structură de condensatoare legate în paralel — structură pieptene. Sub această formă de „cip” neprotejat (figura 2.11 a), condensatorul este folosit în tehnologia straturilor groase (componentă pentru circuitele hibride).

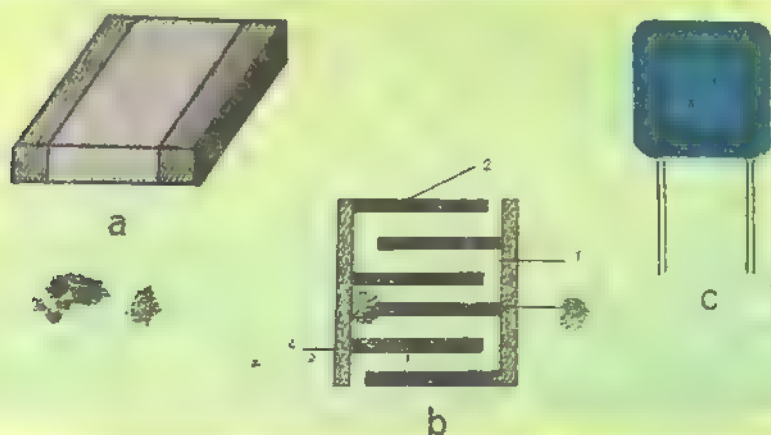


Fig. 2.11. Condensator ceramic multistrat; a) Condensator ceramic multistrat neincapsulat; b) structură: 1 — dielectric, 2 — armătura stângă, 3 — armătura dreaptă, 4 — metalizare; c) condensator ceramic multistrat protejat.

Zona metalizată, figura 2.11 b, care scurtcircuitază armăturile „stînga” și respectiv „dreapta” servește și pentru sudarea prin lipire a terminalelor din sîrmă de cupru dublu cositorită. Condensatorul este protejat prin acoperire cu un strat de rășină epoxidică; componenta în stare finită este ilustrată în figura 2.11 c.

Marcarea acestui tip de condensator se face astfel:

- capacitatea nominală se marchează în clar;
- toleranța capacității în cod literal:
F—1%; G—2%; J—5%; K—10%; M—20%;
- tensiunea nominală în cod de cifre:
1—25 V_{cc}; 2—50 V_{cc}; 3—100 V_{cc}; 4—200 V_{cc}

Astfel, condensatorul marcat $\begin{pmatrix} 0,56 \\ M 1 \end{pmatrix}$ are valoarea nominală $C_n=560$ nF, $t=\pm 20\%$, $U_n=25$ V.

Performanțele condensatoarelor ceramice fabricate la I.P.E.E. Curtea de Argeș sînt ilustrate în tabelul 2.4.

2.4.2. CONDENSATOARE CU HIRTIE

a) Condensatoarele *cu hirtie* se realizează prin bobinarea a două folii de aluminiu care alcătuiesc armăturile, separate de două sau mai multe folii de hirtie impregnate care constituie dielectricul. Schematic, bobinarea condensatorului este redată în figura 2.12 a. Armăturile cu dimensiuni cuprinse între 5 și 15 μm se pot plasa suprapuse — bobinarea inductivă (efectul inductiv parazit la acest tip de bobinare este supărător la frecvență mai înaltă), sau decalate — bobinare neinductivă (bobina astfel realizată se scurtcircuită

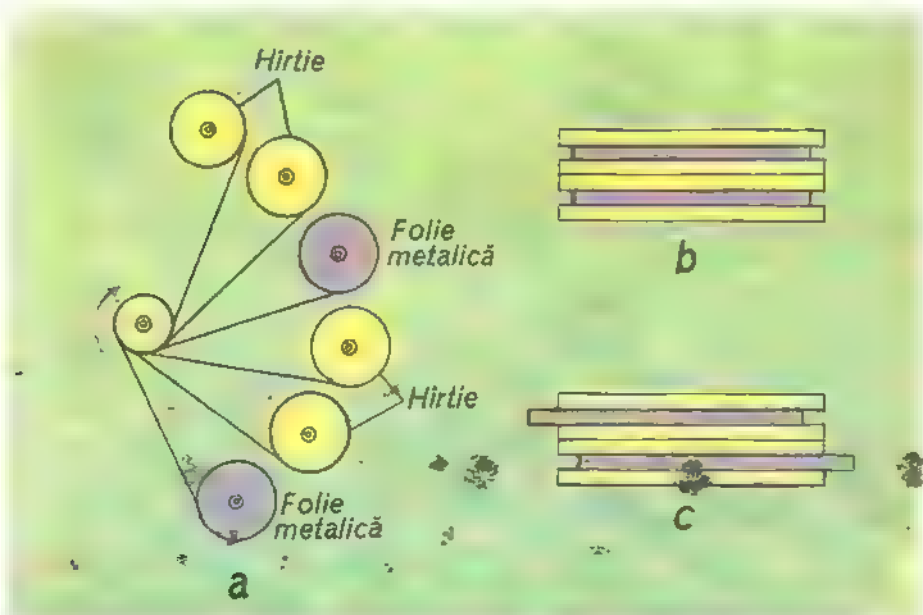


Fig. 2.12. Construcția condensatoarelor cu hirtie: a) schema de bobinare; b) secțiune prin bobina cu armături suprapuse; c) secțiune prin bobina cu armături decalate.

tează la capete și în acest fel efectul inductiv dispare; se realizează în acest mod o zonă care va fi metalizată și care permite plasarea terminalelor). Secțiunea bobinei condensatorului în cele două variante este ilustrată în figura 2.12 *b* și *c*. La bobinele inductive, contactul cu exteriorul se face cu ajutorul unor lamele de contact din cupru cositorit, ca în figura 2.13 (pentru bobinele mari se plasează mai multe lamele de contact pe armătură); pentru condensatoarele bobinate neinductiv terminalele sînt din sîrmă de cupru cositorită, sudate de zonele metalizate. Bobinarea se efectuează cu mașini de bobinat automate (figura 2.14 și 2.15).

După bobinare, condensatoarele se impregnează cu dielectrici lichizi (ulei de condensator, tricloridfenil etc.) sau solizi (parafină, rășini epoxidice);

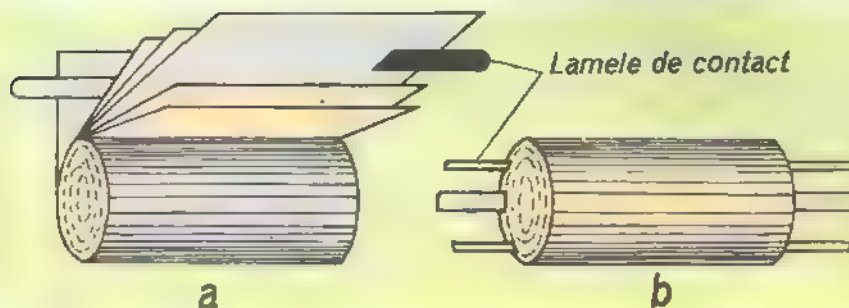


Fig. 2.13. Realizarea contactelor exterioare la condensatoarele cu hîrtie (bobinare inductivă): *a*) plasarea lamelelor de contact; *b*) bobina finită.

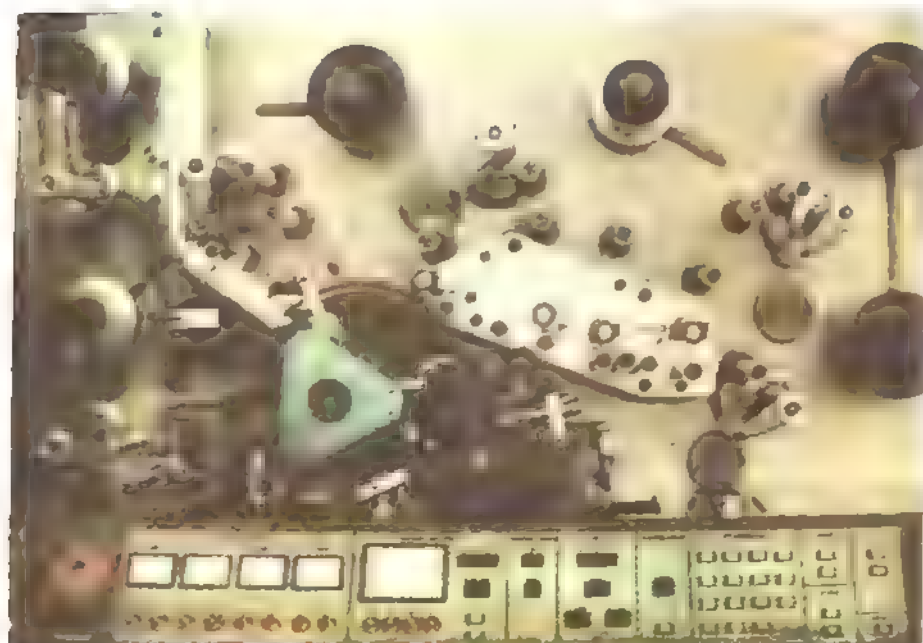


Fig. 2.14. Mașina de bobinat condensatoare cu hîrtie — vedere din față.

prin această operație se determină creșterea rigidității dielectrice (eventualele incluziuni de gaze din dielectric sînt înlocuite cu impregnant).

Condensatoarele sînt protejate prin mularie în „compound” epoxidic sau sînt introduse într-un tub de aluminiu etanșat cu rășină epoxidică sau cu rondele din pertinax cauciucat (cele mai răspîndite) ca în figura 2.16. Se observă că cele patru condensatoare din figură, identice ca aspect, diferă prin gabaritul determinat de lățimea și lungimea foliei de aluminiu (fixate în funcție de capacitatea nomi-



Fig. 2.15. Mașina de bobinat condensatoare cu hîrtie — vedere laterală.

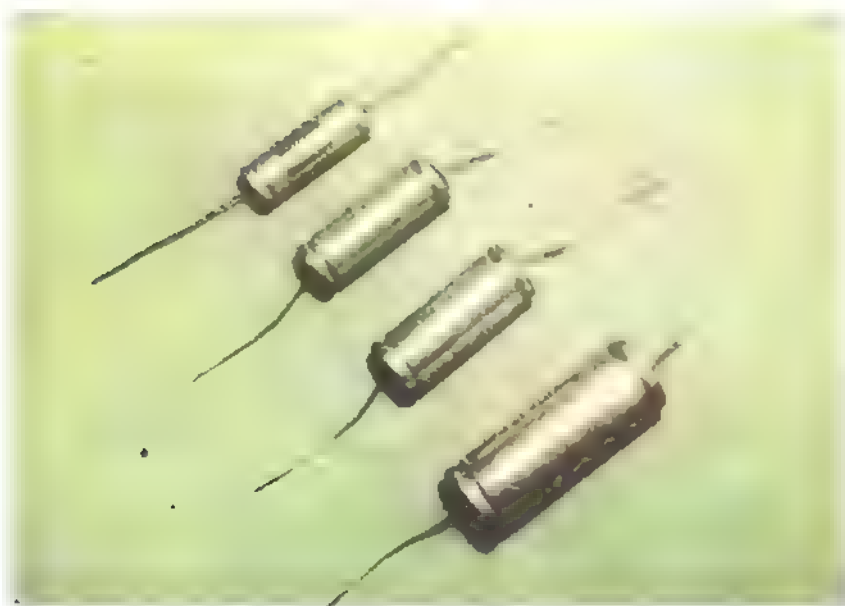


Fig. 2.16. Condensatoare cu hîrtie încapsulate.

nală) și de numărul de straturi de hirtie folosit (în funcție de tensiunea nominală la care este proiectat condensatorul)

b) Condensatoarele cu hirtie metalizată sînt caracterizate printr-o capacitate specifică mai mare, datorită faptului că armăturile sînt pelicule metalice (aluminiiu de obicei) foarte subțiri (zecimi de micron) depuse în vid pe hirtia lăcuită în prealabil. Condensatorul se realizează prin bobinarea a două straturi de hirtie metalizată, astfel realizată încît armăturile să fie decalate (figura 2.17).

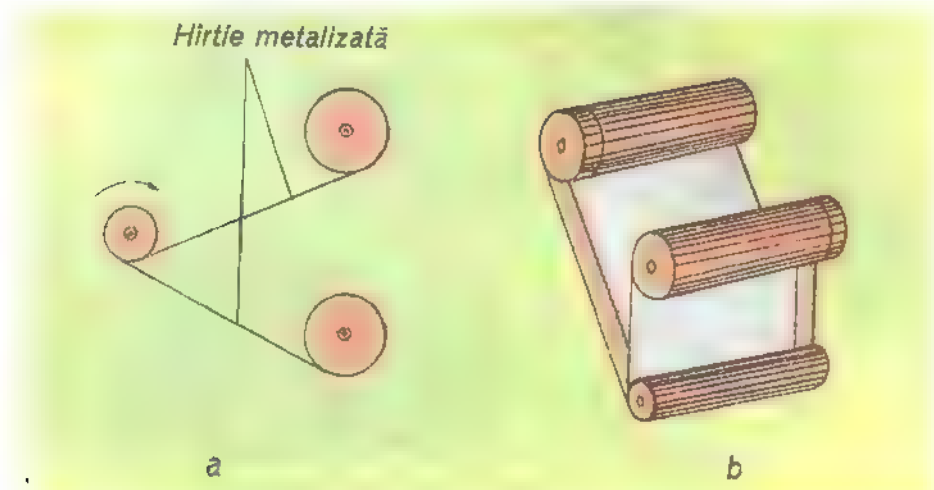


Fig. 2.17. Construcția condensatoarelor cu hirtie metalizată a) schema de bobinare; b) bobina condensatorului; cu pelicule metalice decalate.

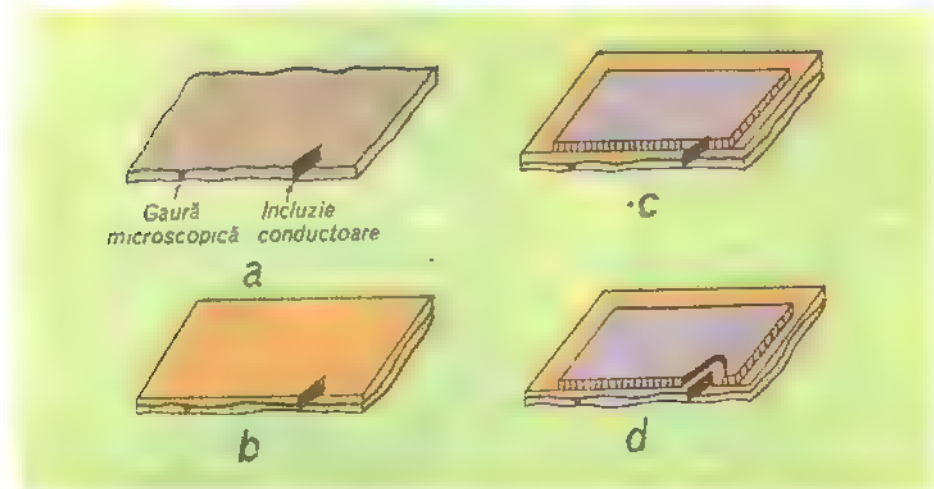


Fig. 2.18. Înlăturarea defectelor dielectricului la condensatoarele cu hirtie metalizată: a) hirtie de condensator cu defecte; b) hirtie acoperită cu lac; c) hirtie metalizată; d) hirtie metalizată cu defectul înlăturat.

După bobinare, pentru înlăturarea eventualelor zone de scurtcircuit care pot apare între armături datorită imperfecțiunilor dielectricului, se aplică bobinei condensatorului o tensiune progresiv crescătoare, mai mare decât U_n ; curenții locali de scurtcircuit încălzesc puternic pelicula depusă, care se evaporă, înlăturându-se astfel regiunea defectă din circuit; fenomenul este ilustrat în fig. 2.18. Suprapunerea hîrtiei astfel încît zonele metalizate să fie decalate permite, prin metalizarea extremităților bobinei, înlăturarea efectului inductiv parazit și lipirea terminalelor din sîrmă de cupru cositorită (prin sudură pe aceste zone). Protejarea acestui tip de condensator se poate realiza în mai multe moduri: în tub de carton, în tub metalic (aluminiu sau cupru) sau prin muij în amestec de substanțe plastice (figura 2.19).

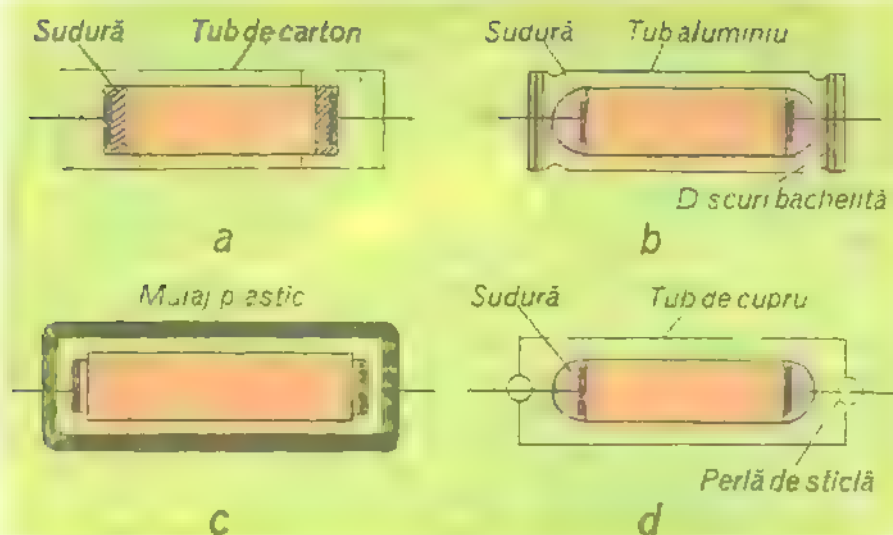


Fig. 2.19. Protejarea condensatoarelor cu hîrtie metalizată: a) în tub de carton; b) în tub de aluminiu; c) muij plastic; d) tub de cupru.

2.4.3. CONDENSATOARE CU PELICULĂ DIN MATERIAL PLASTIC

Folia din material plastic nu prezintă puncte conductoare sau găuri microscopice și de aceea se poate folosi un singur strat de dielectric; aceasta duce la creșterea capacității specifice a condensatorului și la reducerea gabaritului său; de asemenea, rezistența de izolație obținută este foarte mare.

La acest tip de condensatoare, armăturile sînt folii de aluminiu (de ordinul micronilor), sau pelicule de aluminiu obținute prin depunerea în vid a aluminiului pe dielectric.

Condensatoarele care folosesc ca dielectric folii de plastic nemetalizate sînt caracterizate prin tangentă a unghiului de pierderi mică, proporțională cu 10^{-4} ; dielectricii folosiți sînt nepolari, de tipul polistirenului, polietilenei, polipropilenei etc.; cel mai folosit este polistirenul, cunoscut și sub numele de „stiroflex“.

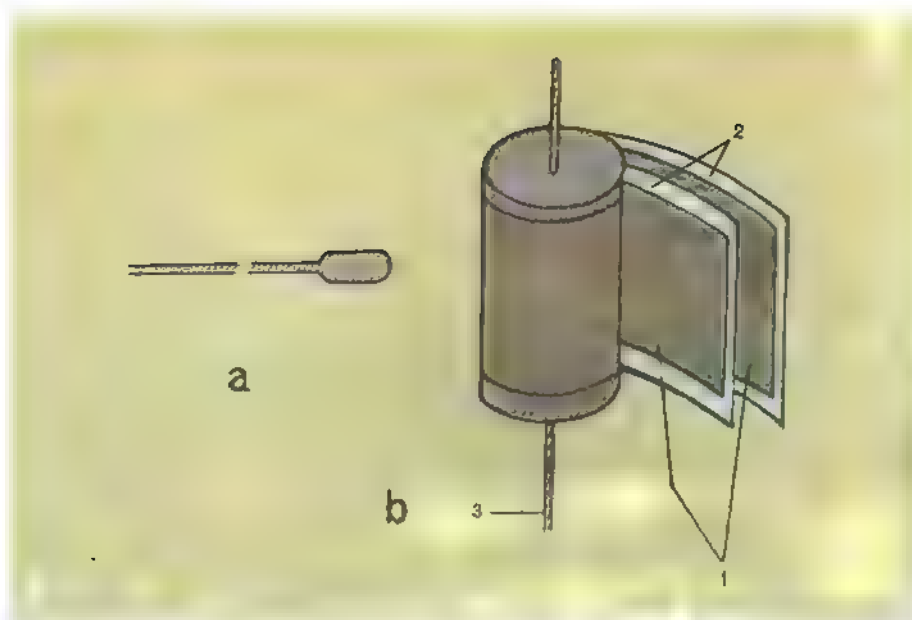


Fig. 2.20 Condensatoare cu polistiren: a) terminal; b) bobina condensatorului; 1 — armături, 2 — dielectric, 3 — terminale

a) Condensatoarele cu *polistiren* („stiroflex“) au tehnologia asemănătoare condensatoarelor cu hârtie impregnată: condensatorul este format din folii de aluminiu separate de una sau mai multe folii de polistiren (în funcție de tensiunea nominală a condensatorului) bobinate manual, semiautomat sau automat. Terminalele din sîrmă de cupru dublu cîșitorită (2.20 a), sînt lipite prin sudură prin puncte pe armături înainte de bobinare (pentru condensatoarele bobinate manual) sau în timpul bobinării (la bobinarea semiautomată și automată). Bobina condensatorului este ilustrată în figura 2.20 b. După bobinare, condensatorul este supus unui regim termic ușor în urma căruia polistirenul polimerizează și capătă un aspect sticlos, etanșeizînd condensatorul. Marcarea condensatoarelor se face în clar — valoarea nominală și toleranța — și în codul culorilor, pentru tensiunea nominală (culoarea este plasată la extremitatea condensatorului prin colorarea corespunzătoare a unei extremități a rolei de polistiren, înainte de bobinare). Condensatoare cu polistiren de diferite valori sînt ilustrate în fig. 2.21.

b) Condensatoare cu *polietilentereftalat*.

Foliile plastice care se pot metaliza sînt dielectrice polari de tipul: polietilentereftalat, policarbonat, rășină poliamidică, caracterizați prin pierderi în dielectric mari ($\text{tg } \delta \approx 10^{-2}$); datorită armăturilor depuse sub formă de peliculă, capacitatea specifică crește și se pot obține valori nominale mari (de cîțiva μF) în volum relativ mic.

La noi în țară la I.P.E.E. — Curtea de Argeș se fabrică condensatoare cu dielectric polietilentereftalat („mylar“). Procesul tehnologic al acestor condensatoare este similar cu procesul tehnologic al condensatoarelor cu hîrtie metalizată: pe folia de polietilentereftalat se depune în vid o peliculă discontinuă, subțire, de aluminiu (zecimi de μ). Prin tăierea și rularea foliei



Fig. 2.21. Condensatoare cu polistiren (stiroflex).

metalizate se obțin role în care zona de dielectric neacoperită este situată la dreapta sau la stânga regiunii metalizate (figura 2.22). Pe mașini automate de bobinat, similare cu cele din figura 2.14 și 2.15, se plasează o rolă „dreaptă” și o rolă „stângă”. Prin suprapunerea și bobinarea foliei va rezulta bobina condensatorului; urmează operațiile de metalizare, lipire a terminalelor prin sudură de zona metalizată, regenerarea și protecția condensatorului astfel obținut.

Protejarea condensatoarelor cu mylar se face prin încapsulare în capsule cilindrice sau dreptunghiulare și etanșeizare prin mulară în rășină, prin injecție sau turnare; a treia formă de protejare — mulară în „compound” (lichid viscos verde, format din amestec de rășini) — se folosește

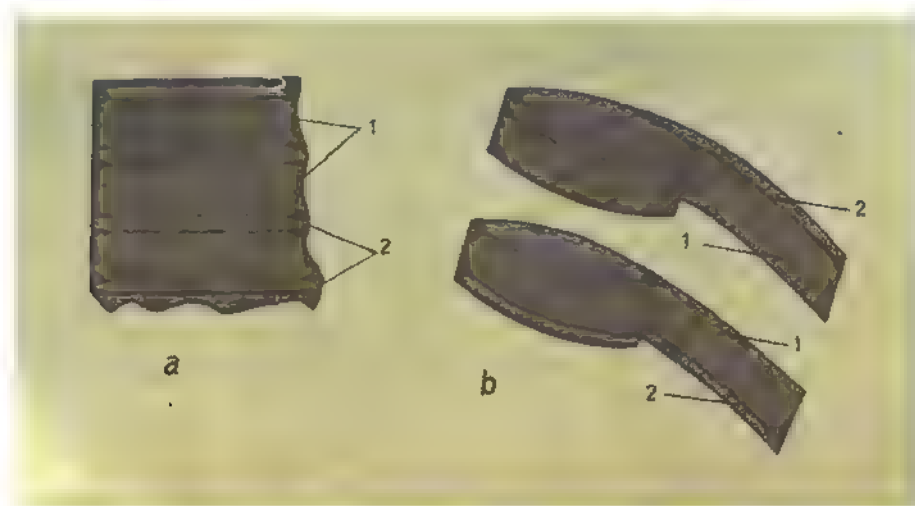


Fig. 2.22. Folie de dielectric metalizată: a) folia netăiată; b) role de folie: 1 — zona metalizată, 2 — zona de dielectric neacoperită.

acum mai rar. În figura 2.23 sînt înfățișate condensatoare cu polietilentereftalat — produs finit, iar în tabelul 2.4 sînt date principalele caracteristici tehnice.



Fig. 2.23. Condensatoare cu polietilentereftalat („mylar“).

Folosind o tehnologie similară se obțin și condensatoare cu dielectric policarbonat metalizat.

2.4.4. CONDENSATOARE CU MICĂ

Mica este un material cu bune proprietăți dielectrice, folosit acum ceva mai rar. Condensatoarele cu mică sînt plane, cu structură similară condensatoarelor ceramice multistrat: armăturile din folii de staniu, cupru de mare puritate, aluminiu sau peliculă de argint sînt dispuse alternativ între straturile de mică, alcătuind o structură pleptene; scurtcircuitarea la extremități a armăturilor impare și respectiv pare asigură creșterea capacității totale și contactarea terminalelor.

În figura 2.24 sînt prezentate două variante de structură de condensator cu mică.

În fig. 2.25 sînt date cîteva tipuri de condensatoare cu mică.

Acest tip de componentă nu se fabrică în țară.

2.4.5. CONDENSATOARE ELECTROLITICE

Condensatoarele electrolitice folosesc ca dielectric o peliculă foarte subțire de oxid unipolar (Al_2O_3 , Ta_2O_5 , Mb_2O_3) care prezintă rezistivitate și

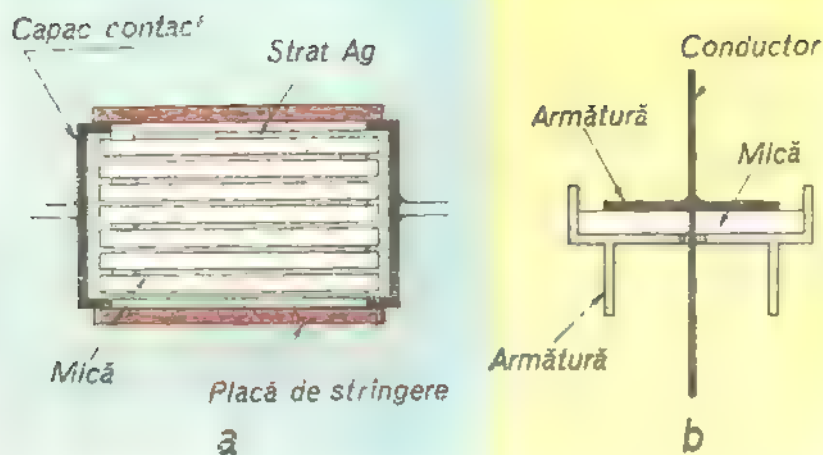


Fig. 2.24 Structuri de condensator cu mica

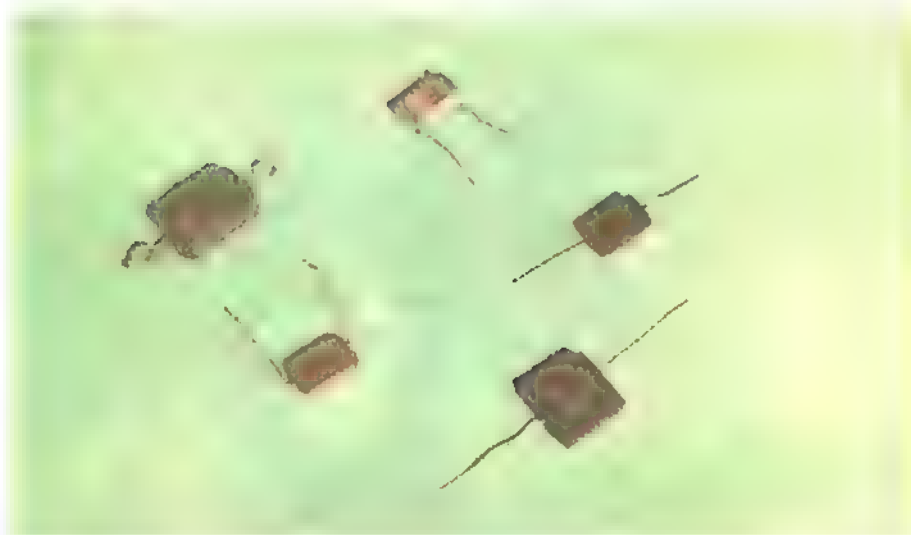


Fig. 2.25. Condensatoare cu mica.

rigiditate dielectrică foarte mare și este stabilă în timp. Condensatorul are una din armături construită din metalul pe care se obține stratul de oxid dielectric. Pentru că această armătură are suprafață utilă foarte mare, iar pelicula dielectrică este foarte subțire (sub $1 \mu\text{m}$) se obțin capacități specifice mari (sute de microfarazi pe cm^2). A doua armătură este un electrozlit

care poate fi lichid, impregnat într-un dielectric poros sau solid. Pentru a menține stratul de oxid, armătura metalică trebuie să fie întotdeauna pozitivă față de electrolit, deci condensatoarele electrolitice sînt condensatoare polarizate; modul de polarizare prezentat este specific polarizării inverse a unei joncțiuni metal—oxid.

Condensatorul nu poate funcționa decît în curent continuu; admite totuși o componentă alternativă redusă, suprapusă peste componenta continuă. Pentru a realiza condensatoare electrolitice nepolarizate, care pot funcționa și în curent alternativ se folosește soluția legării în serie a două joncțiuni metal—oxid polarizate invers.

a) *Condensatoarele cu aluminiu semiuscate*, frecvent utilizate în montajele electronice sînt, din punct de vedere constructiv, condensatoare bobinate iar tehnologia este similară tehnologiei condensatoarelor cu hîrtie.

Bobina condensatorului are următoarea structură:

— armătura anod realizată din folii de aluminiu de puritate mare, de grosimi între 50 și 120 μm , asperizate electrochimic pentru a avea o suprafață efectivă cît mai mare; în urma operației de oxidare, pe această folie se formează un strat dielectric de Al_2O_3 , de grosime foarte mică (zecimi de micron).

— două folii de hîrtie (de grosime pînă la 100 μm), care reprezintă suportul în care se va impregna electrolitul (a doua armătură a condensatorului).

— folia catodică este o folie de aluminiu neasperizată, cu rol de a asigura contact electric spre exterior celei de a doua armături — electrolitul. În timpul bobinării, prin nituire sau termocompresie se aplică pe armătura anodică și pe folia catodică lamele de contact sau terminale. Figura 2.26 ilustrează schema de principiu a bobinării și structura unui astfel de condensator.

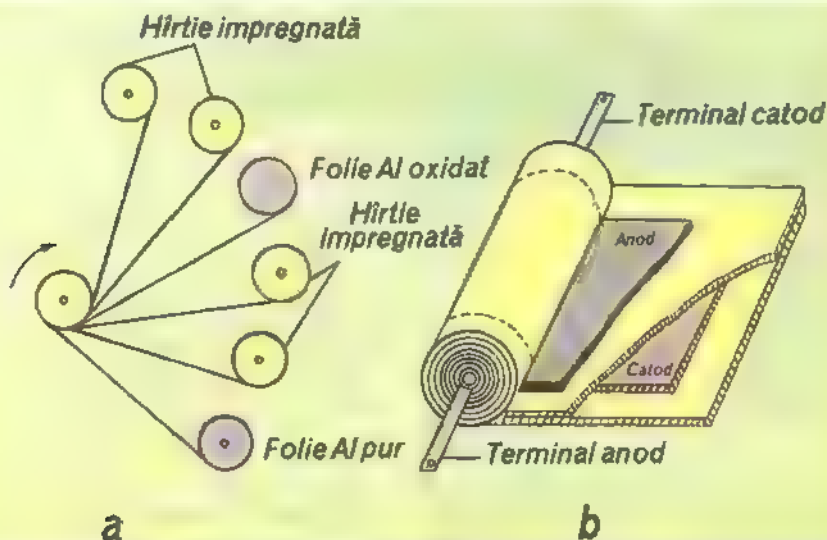


Fig. 2.26. Condensator electrolitic cu aluminiu semiuscate: a) schema de principiu a bobinării condensatorului; b) structura condensatorului.

După bobinare, urmează operația de impregnare a straturilor de hîrtie cu electrolit (acid boric, etilenglicol, hidroxid de amoniu) care trebuie să fie stabil în timp, cu o rezistență electrică cît mai mică și invariabilă cu frecvența și temperatura. Etanșeizarea condensatorului se face prin:

— Încapsulare în carcasă de aluminiu prevăzută cu capac din textolit, cu nituri și cose pentru contactul anodic și catodic (foția de contact catodic se sudează de peretele carcasei; foliile de contact anodic se sudează de niturile capacului izolanț), fig. 2.27.



Fig. 2.27. Condensator electrolitic cu aluminiu în carcasă de aluminiu.

— Încapsulare în capsule de plastic și injectarea capacului în matriță. În timpul fabricării, pelicula de oxid se deteriorează; prin aplicarea unei tensiuni ușor superioare tensiunii nominale, un timp determinat, pelicula de oxid se reface — operația poartă denumirea de formare finală a condensatorului.

Condensatoarele cu aluminiu acoperă gama $0,5 \div 15\,000\ \mu\text{F}$ și au tensiuni nominale pînă la 500 V; diferite tipuri constructive sînt ilustrate în figurile 2.27 și 2.28.

b) *Condensatoarele cu tantal semiuscăt* sînt similare, din punct de vedere constructiv, cu condensatoarele semiuscate cu aluminiu. Proprietățile mecanice superioare ale tantalului permit obținerea unor folii subțiri, iar permitivitatea pentaoxidului de tantal este aproape dublă față de cea a oxidului de aluminiu; va rezulta o capacitate specifică mai mare, iar condensatoarele vor avea gabarit mai mic. La ora actuală componentele de acest tip sînt folosite mai rar, fiind înlocuite cu condensatoarele cu anodi sinterizați din tantal.

Structural, un astfel de condensator este format din:

— armătura anodică: este un bloc, de obicei cilindric, din pulbere de tantal presată și sinterizată; la o anumită granulație a pulberii, suprafața



Fig. 2.28. Tipuri de condensatoare electrolitice cu aluminiu.

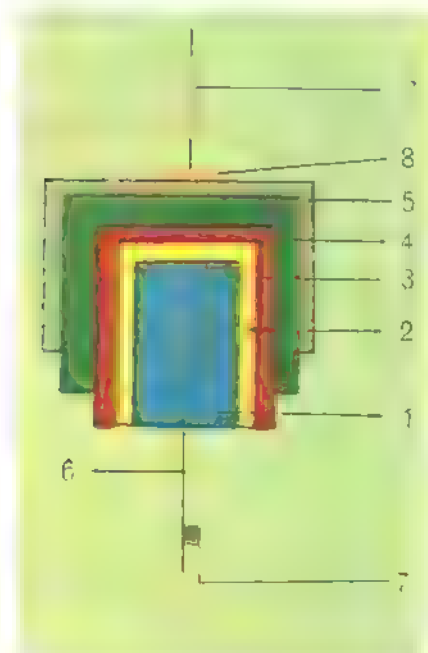


Fig. 2.29. Condensator electrolitic cu anod din tantal sinterizat secțiune: 1 — armătura anodică din tantal sinterizat; 2 — dielectric din Ta_2O_5 ; 3 — armătura catodică — strat de MnO_2 ; 4 — strat de grafit; 5 — strat de argint; 6 — conductor portanod; 7 — terminale; 8 — sudura terminalelor.

utilă a anodului este de ordinul $1 \text{ m}^2/\text{cm}^3$, ceea ce conferă o capacitate specifică foarte mare condensatorului. Pentru a permite realizarea contactului cu terminalul anodic armătura anodică se presează în jurul unui conductor port-anod confecționat din tantal metalic.

— dielectricul: este o peliculă de grosime foarte mică ($100\div 300 \text{ \AA}$) din pentaoxid de tantal (Ta_2O_5).

— armătura catodică: este un strat de bioxid de mangan (MnO_2) obținut prin imersia repetată a anozilor oxidați, 85% din înălțime, în soluție de azotat de mangan, urmată de piroliză. Acest proces afectează stratul de oxid depus și acesta va fi refăcut ciclic, prin oxidare electrochimică. Contactul catodic se realizează prin imersia structurii obținute în grafit coloidal, anozii grafitati vor fi apoi argintați, prin imersie 85% din înălțime în soluție de argint coloidal; operația de argintare va permite lipirea terminalului catodic.

Structura descrisă este ilustrată în figura 2.29. Terminalele pot fi plasate axial sau radial, acest tip de condensator obținându-se sub două forme construc-

— condensator tip picătură: terminalele din nichel argintat sînt plasate radial și acoperirea de protecție se realizează prin imersie în compound epoxidic urmată de polimerizare;

— condensator de tip tubular: protejarea se face în tub de cupru stanat, terminalul anodic din nichel argintat este izolat de carcasă prin trecere metal-sticlă; terminalul catodic este din cupru argintat sau stanat.

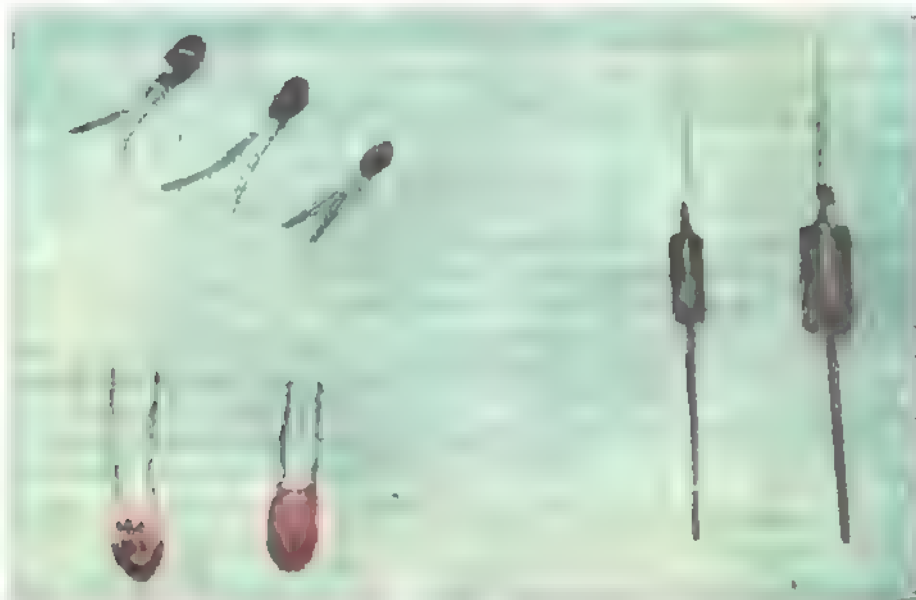


Fig. 2.30. Condensatoare electrolitice cu tantal.

Condensatoarele cu tantal (figura 2.30) acoperă un domeniu larg de temperatură ($-80 \div +85^{\circ}\text{C}$) și au performanțe superioare condensatoarelor cu aluminiu: curent de fugă mai mic, variații reduse (sub 5%) ale capacității cu temperatura; în schimb, tensiunea nominală de lucru ajunge numai pînă la 125 V, iar în regim de impulsuri poate apare fenomenul de străpungere termică (prin doparea stratului de pentaoxid de tantal cu molibden se poate îmbunătăți comportarea în regim de impulsuri). Condensatoarele cu tantal fabricate în țară, la Tehnoton — Iași, acoperă gama $0,1 \mu\text{F} \div 680 \mu\text{F}$, cu tensiunea nominală limită de 63 V.

Tabelul 2.4 ilustrează principalele caracteristici tehnice ale condensatoarelor fixe de diferite tipuri fabricate în țară la I.P.E.E. — Curtea de Argeș, Tehnoton — Iași și I.P.R.S. — Băneasa.

2.5. CONDENSATOARE VARIABLE ȘI SEMIVARIABLE

a) Condensatoarele *variable* sînt componente a căror capacitate poate fi modificată între anumite limite impuse de funcționarea circuitelor electronice; sînt în general condensatoare de acord în circuite de recepționare a unui semnal radio sau în circuite oscilante.

Parametrii condensatoarelor variabile sînt similari cu cei ai condensatoarelor fixe: capacitatea nominală și toleranța acesteia, tensiunea nominală și tangenta unghiului de pierderi, coeficienți de variație ai capacității sub acțiunea temperaturii și a altor factori ambianți.

Trebuie menționat că prin capacitate nominală se înțelege de regulă valoarea maximă, C_{max} , pe care o poate avea capacitatea condensatorului variabil. Capacitatea minimă reprezintă valoarea minimă a capacității ce se poate obține la bornele condensatorului; valorile obișnuite sînt de ordinul $(0,05 \div 0,2) C_{max}$.

Parametrii specifici pentru condensatoarele variabile sînt: legea de variație a capacității și momentul de rotație. Legea de variație este definită de funcția:

$$C = f(C_{min}, C_{max}, \varphi),$$

unde φ reprezintă, în radianți, grade sau procente, poziția relativă a rotorului față de stator. Legea de variație poate fi: liniară, logaritmică sau o funcție directă sau inversă de gradul 2, în funcție de domeniul de aplicație (aparate de măsură sau radiotehnică) și de parametrul care interesează în circuit (frecvență, lungime de undă).

Momentul de rotație al armăturii mobile caracterizează ușurința și siguranța reglării capacității; în mod obișnuit, valoarea acestuia nu depășește $500 \mu Nm$.

Condensatorul variabil cu aer (cel mai răspîndit) este alcătuit din două părți distincte, rotorul și statorul: lamelele statorului pătrund între bornele rotorului în funcție de unghiul de rotație, variind suprafața și deci capacitatea condensatorului. Armăturile statorului și rotorului sînt din aluminiu sau alamă, de grosime $(0,5 \div 1 \text{ mm})$; în funcție de numărul de circuite care trebuie acordate simultan, condensatoarele variabile cu aer se realizează cu $1 \div 3$ secțiuni identice sau diferite.



Fig. 2.31. Condensator variabil cu aer asamblat și părțile lui componente: rotor, stator, lamelă stator, lamelă rotor.

În figura 2.31 este ilustrat cel mai utilizat condensator variabil cu aer folosit la realizarea acordului la radioreceptoare; este prezentat asamblat precum și părțile lui componente: rotor, stator, lamelă de rotor, lamelă de stator. Se observă că o astfel de componentă implică o construcție mecanică complicată și dificilă, cu gabarit mare, capacitate mică (avînd ca dielectric aerul) și preț de cost ridicat.

Pentru condensatoarele variabile care lucrează în regim de înaltă tensiune (de ordinul kilovolților) se folosesc ca dielectrici gaze electronegative (de exemplu hexaflorură de sulf, diclorodiflormetan, hexafluoretan, octofluorciclobutan sau tetraclorură de carbon) sau incinte vidate.

Pentru a crește capacitatea specifică s-au folosit dielectrici solizi în construcția condensatoarelor variabile: folii de materiale sintetice termoplaste, plasate între rotor și stator; condensatoarele variabile cu polistiren sau politetrafluoretilenă au dimensiuni mici și se pot plasa pe cablaje imprimate.

b) Condensatoarele *reglabile*, denumite și semivariabile sau trimeri, se caracterizează prin faptul că valoarea capacității poate fi reglată la punerea în funcțiune sau la verificări periodice; îndeplinesc rolul unor condensatoare fixe în timpul funcționării. Din punct de vedere constructiv există condensatoare reglabile plane, cilindrice sau bobinate; dielectricul folosit este aerul, materialele ceramice (dielectric anorganic) sau materiale termoplastice nepolare (dielectric organic).

Condensatorul semivariabil cilindric cu aer (figura 2.32) este format din stator și rotor, prevăzute cu lamele concentrice. Prin mișcarea rotorului,

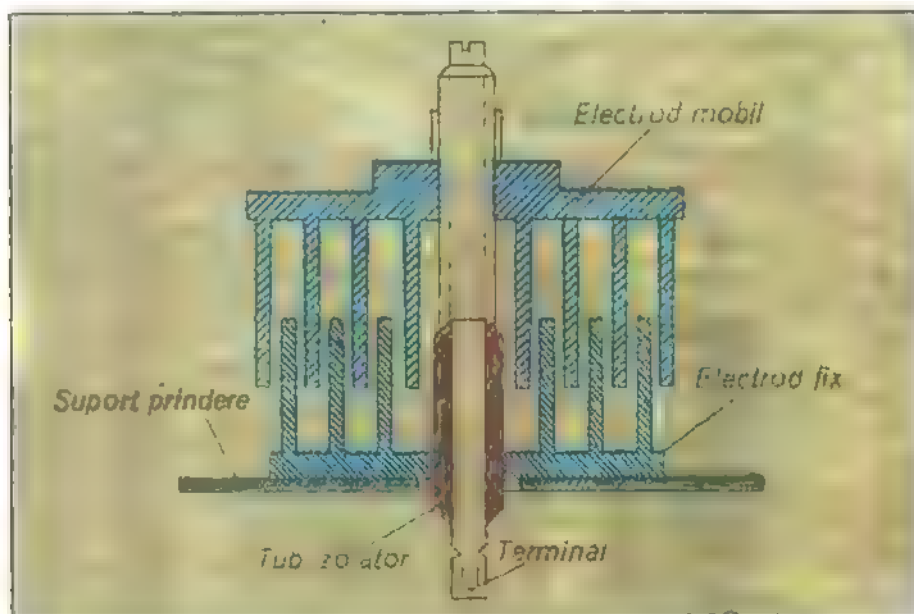


Fig. 2.32. Condensator semivariabil cilindric cu aer

armăturile lui se suprapun mai mult sau mai puțin cu armăturile statorului, modificînd suprafața condensatorului realizat; capacitatea maximă poate ajunge la cîteva zeci de picofarazi.

Condensatoarele semivariabile ceramice (trimerii ceramici) plane și cilindrice, sînt cele mai răspîndite, valoarea maximă a capacității putînd ajunge pînă la 200 pF.

Trimerii ceramici plani (figura 2.33) au un stator din ceramică pe care este depusă prin serigrafie o armătură din argint; a doua armătură este depusă prin pulverizare pe rotorul ceramic (cu proprietăți dielectrice, ceramică tip II, uzual). Repere mecanice permit suprapunerea rotorului peste stator și rotirea acestuia, suprafețele de contact avînd o finisare cît mai bună.

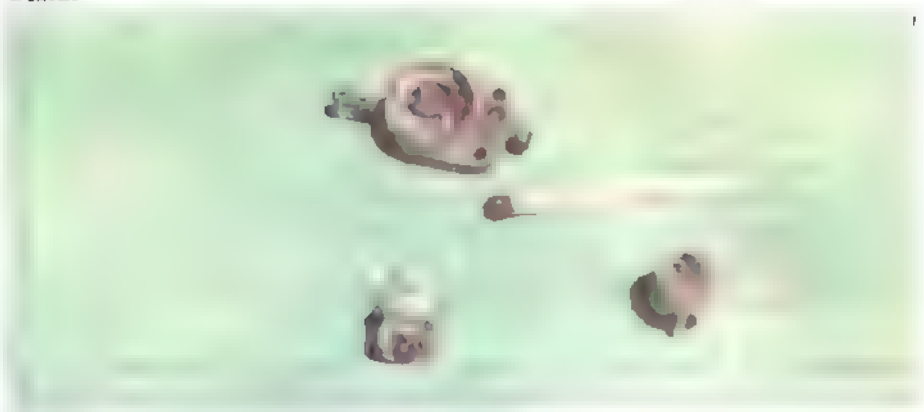


Fig. 2.33. Condensator semivariabil ceramic plan.

Condensatoarele ceramice cilindrice (figura 2.34) au un corp ceramic cilindric pe a cărui suprafață exterioară se depune o armătură; a doua armă-

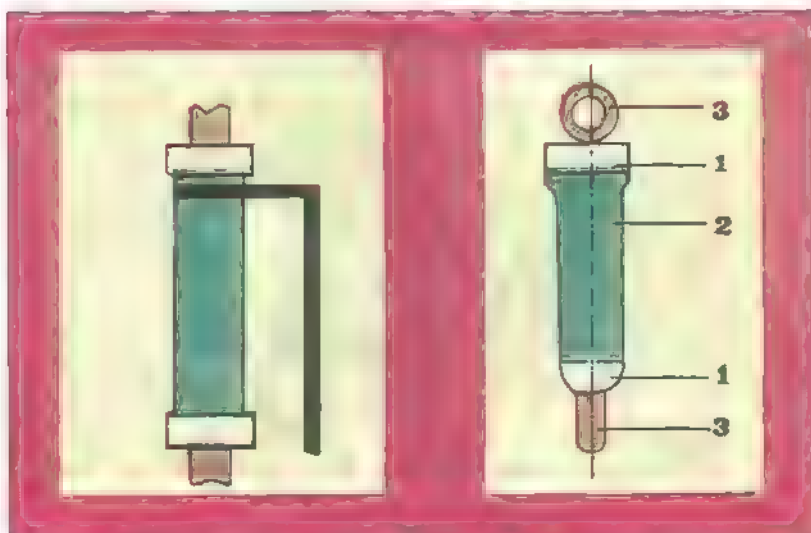


Fig. 2.34. Trimer ceramic cilindric.

Fig. 2.35. Condensator de trecere: 1 — dielectric; 2 — armătura exterioară; 3 — armătura interioară.

tură este mobilă, sub forma unui șurub care poate înainta în interiorul cilindrului variind astfel capacitatea la borne; capacitatea maximă a unui astfel de trimer este $3 \div 20$ pF.

Condensatoarele reglabile cu dielectric organic sînt cilindrice și cu variația capacității între $0,5 \div 3,5$ pF; se realizează prin deplasarea unui piston metalic (armătură mobilă) în interiorul unui tub metalic (armătură fixă) care are depus pe peretele interior un strat de zecimi de milimetru de material termoplasthic nepolar.

Parametrii condensatoarelor fixe și variabile fabricate în țară sînt cuprinși în tabelul 2.4.

Înainte de a încheia trebuie să amintim de o categorie aparte de condensatoare — condensatoarele de trecere; se folosesc la trecerea printr-un ecran electromagnetic a unei tensiuni de alimentare. Pentru a nu perturba funcționarea circuitului din interiorul ecranului, acest condensator trebuie să prezinte un scurtcircuit la frecvența de lucru. Un astfel de condensator este ilustrat în figura 2.35: pe un suport din ceramică de tip II se depune armătura exterioară (care se lipește de pereții orificiului practicat în ecran); prin interior se plasează armătura interioară de trecere de la un capăt la celălalt al condensatorului.

2.6. COMPORTAREA ÎN CURENT ALTERNATIV A CONDENSATOARELOR

Condensatorul — componentă ideală prezintă în curent alternativ o reactanță capacitivă: $X_c = \frac{1}{\omega C}$, iar defazajul dintre curentul I , care străbate condensatorul și tensiunea alternativă, U , aplicată, este de 90° , tensiunea fiind în urma curentului (v. fig. 2.1).

Componenta reală de capacitate C prezintă însă o anume schemă echivalentă în funcție de structura și tehnologia adoptată. Astfel trebuie să se țină seama de o serie de considerente, cum ar fi:

— terminalele și armăturile care sînt din cupru, aluminiu, argint, sau aliaje, au o conductibilitate finită, deci vor prezenta o rezistență, r_s , la trecerea curentului.

— materialele dielectrice (hîrtia, materialele plastice) nu sînt izolatoare perfecte, prin dielectric trecînd un curent rezidual (care, oricît ar fi de mic, produce în timp descărcarea unui condensator); condensatorului ideal de capacitate C i se va adăuga în paralel o rezistență, r_p , echivalentă acestui fenomen.

— în general se mai adaugă în paralel cu condensatorul încă o rezistență, R_p , care exprimă pierderile din dielectric. Dacă $\operatorname{tg} \delta_e$ este tangenta unghiului de pierderi datorate dielectricului, atunci:

$$R_p = \frac{1}{\omega C \operatorname{tg} \delta_e}$$

— trecerea curentului prin terminale, armături și prin dielectric, creează un cîmp magnetic, deci apare un efect de inductivitate care crește o dată cu frecvența; fenomenul poate fi echivalat prin apariția în schema echivalentă a unei inductanțe L_c .

Performanțe ale condensatoarelor fabricate în R.S.R.

| Tipul condensatorului | Seria | Capacitatea nominală | Parametrii electrici | Banda de frecvență | Utilizări |
|----------------------------|------------------|----------------------|--|--------------------|--|
| a | b | c | d | e | f |
| ceramice tip I | CG CO | 0,8 pF ÷ 1 nF | toleranță: $\pm (0,25; 0,5; 1)$ pF pentru $C_n \leq 10$ pF $\pm 5\%$; $\pm 10\%$ pentru $C_n \geq 10$ pF $\lg \delta \leq 15 \cdot 10^{-4}$ $U_n = 63; 500 V_{cc}$ $R_n \geq 10 G\Omega$ $\alpha_c = (-750 \div \pm 250)$ ppm/°C | înaltă frecvență | echipamente electronice industriale și profesionale |
| ceramice tip II | CL C(A, B, C) | 33 pF ÷ 100 nF | toleranță: $\pm 10\%$; $\pm 20\%$ $(-20\%; +80\%)$; $(-20\%; +50\%)$ $\lg \delta \leq 0,035$ $U_n = 25 V_{cc}; 500 V_{cc}; 2, 3 KV_{cc}$ $R_n \geq 3 G\Omega$ coeficient nedefinit de variație cu temperatura între $(-40 \div +80)^\circ C$ | înaltă frecvență | circuite de cuplare și decuplare, filtre în echipamente de telecomunicații și industriale, circuite de înaltă tensiune |
| ceramice multistrat tip I | MC | 3,3 pF ÷ 27 nF | toleranță: $\pm (1, 2, 5, 10, 20)\%$ $U_n = 25, 50, 100, 200 V_{cc}$ $\lg \delta \leq 15 \cdot 10^{-4}$ $R_n \geq 10 G\Omega$ variație liniară cu temperatura între $-55^\circ C$ și $125^\circ C$, cu $\alpha_c = \pm 30$ ppm/°C | fără restricții | echipamente electronice profesionale |
| ceramice multistrat tip II | MZ MX | 100 pF ÷ 1,5 μF | toleranță: $\pm (5, 10, 20)\%$ $\lg \delta \geq 3 \cdot 10^{-4}$ $U_n = 25, 50, 100, 200 V_{cc}$ $R_n \geq 4 G\Omega$ pentru $C_n \leq 25$ nF $R_n, C_n = 100$ a pentru $C_n \geq 25$ nF între $-55^\circ C$ și $+125^\circ C$, variația capacității $\frac{\Delta C}{C} \leq \pm 20\%$ | fără restricții | echipamente electronice profesionale |

| a | b | c | d | e | f |
|---|--|-----------------------------|---|--|--|
| condensatoare cu hirtie | HC, HA, HPI, HPA, HSA, HPR, HAM, HZ, HS, HMZ | 0,01 $\mu F \div 20 \mu F$ | — toleranță: $\pm 20\%$ — $\lg \delta \leq 0,01$ — $U_n = 220 V \div 1300 V_{ac}$ — $R_n \geq 6 G\Omega$ — între $-25^\circ C$ și $+85^\circ C$ — variație mare a capacității cu temperatura $\Delta C_n = (0 \div -50\%) C_n$ | joasă frecvență | circuite de curent con- tinuu, cuplări, decu- plări, filtre anipara- zizare, circuite de pu- tere, porniri motoare |
| condensatoare cu polistiren (stirolex) | PS | 47 pF \div 100 nF | — toleranță: $\pm (2,5; 5; 10; 20)\%$ — $\lg \delta \leq 5 \cdot 10^{-4}$ — $U_n = 25 \div 1000 V_{ac}$ — $R_n \geq 100 G\Omega$ — $\alpha_n = (-60 \div 220) ppm/^\circ C$ | $f < 100 KHz$ datorită inductanței parazite | echipamente electronice industriale și apară- tură de larg consum |
| condensatoare cu polietilene- reflatat (mylar) | PMP | 10 nF \div 6,8 μF | — toleranță: $\pm (5; 10; 20)\%$ — $\lg \delta \leq 0,01$ — $U_n = 100 \div 630 V_{ac}$ — $R_n \geq 3,75 G\Omega$ pentru $C_n \leq 0,33 \mu F$ — $R_n C_n \geq 1250 s$ pentru $C_n > 0,33 \mu F$ — între -40 și $80^\circ C$ — $\Delta C_n = (-4\% - +2\%) C_n$ | $f < 100 KHz$ $f > 100 MHz$ | aparatură industrială și de larg consum |
| condensatoare cu policarbonat metalizat | PCM | 0,01 $\mu F \div 1 \mu F$ | — toleranță: $\pm 10\%$; $\pm 20\%$ — $\lg \delta < 70 \cdot 10^{-4}$ — $U_n = 63 \div 400 V_{ac}$ — $R_n \geq 50 G\Omega$ pentru $C_n \leq 0,33 \mu F$ — $R_n C_n \geq 10^4 s$ pentru $C_n > 0,33 \mu F$ | | |
| condensatoare electrolitice cu aluminu (mi- nătură) | BG | 1 $\mu F \div 2200 \mu F$ | — toleranță: $-20\% \div +100\%$ — $\lg \delta \leq 0,45$ — $U_n = 3 \div 350 V_{ac}$ — polarizate | joasă frecvență | circuite de cuplare, de- cuplare, filtre în echi- pamente industriale, aparatură de larg consum |
| condensatoare electrolitice cu aluminu, de mare capacitate | EG | 100 $\mu F \div 10^4 \mu F$ | — toleranță: $-20\% \div +50\%$ — $\lg \delta \leq 0,75$ — $U_n = 70 \div 450 V_{ac}$ — polarizate | joasă frecvență | filtre după redresare |

| a | b | c | d | e | f |
|--|-----|---|---|-----------------------|---|
| condensatoare electrolitice cu tantal | CTS | 0,1 $\mu\text{F} \pm 68 \mu\text{F}$ | <ul style="list-style-type: none"> — toleranță: $\pm 10\%$; $\pm 20\%$ (-20%; $+30\%$) — $\lg \delta \leq 0,1$ — $U_n = 3 \div 53 V_{cc}$ | joasă frecvență | cuplarea și decuplarea circuitelor de joasă frecvență din radioreceptoare, televizoare, aparatură industrială și specială |
| condensatoare ceramice ajustabile disc | CT | $\frac{2}{7} \div \frac{5}{15} \text{ pF}$ $\frac{3}{10} \div \frac{10}{60} \text{ pF}$ $\frac{5}{20} \div \frac{20}{100} \text{ pF}$ (tip II) | <ul style="list-style-type: none"> — $\lg \delta < 20 \cdot 10^{-4}$ — $U_n = 250, 350 V_{cc}$ — $\alpha_n = (-1800 \div +100) \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ | înaltă frecvență | circuite electronice în radiofrecvență |
| condensatoare ajustabile cilindrice | CTF | 0,5/3 \div 3/15 pF 1/9 pF | <ul style="list-style-type: none"> — $\lg \delta < (2 \div 5) \cdot 10^{-3}$ — $U_n = 250, 400 V$ | $f < 250 \text{ MHz}$ | circuite de înaltă frecvență în aparatură radio-TV |
| variabile cu aer | | 25,60 pF | <ul style="list-style-type: none"> — $\lg \delta < 2 \cdot 10^{-3}$ — $U_n = 450 V_{cc}$ — unghi efectiv de rotație $180^\circ + 30^\circ$ | înaltă frecvență | receptoare de radio-difuziune |
| variabile cu dielectric solid | | 35 pF | <ul style="list-style-type: none"> — $\lg \delta < 7 \cdot 10^{-3}$ — $U_n = 50 V$ — unghi efectiv de rotație $174^\circ + 3^\circ$ | înaltă frecvență | receptoare de radio-difuziune |
| condensatoare de trecere | | 1 nF | | înaltă frecvență | treceri prin ecran electromagnetic |

Impedanța condensatorului a cărui schemă echivalentă este dată în figura 2.36, se poate scrie:

$$Z = r_s + j\omega L + \frac{1}{\frac{1}{r_p} + j\omega C + \frac{1}{R_p}} = r_s + j\omega L + \frac{1}{\frac{1}{r_p} + j\omega C + \omega C \cdot \operatorname{tg} \delta_s}$$

Dacă notăm:

$\operatorname{tg} \delta_p = \frac{1}{r_p \omega C}$ — tangenta unghiului de pierderi în rezistența paralelă

$C' = C[1 + (\operatorname{tg} \delta_p + \operatorname{tg} \delta_s)^2]$ — capacitatea echivalentă,

$\operatorname{tg} \delta_s = \omega C' r_s$ — tangenta unghiului de pierderi în rezistența serie, expresia impedanței se poate pune sub formă:

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C_s}$$

Fig. 2.36. Schema echivalentă a condensatorului tehnic real: C — capacitatea; r_s — rezistența serie datorată terminalelor și armăturilor; L — inductanța parazită echivalentă efectului inductiv; r_p — rezistența datorată conducției în dielectric; R_p — rezistența datorată pierderilor în dielectric.

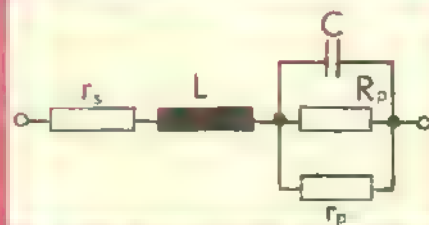


Fig. 2.37. Schema echivalentă serie.



Această relație reprezintă parametrul unei scheme echivalente serie (fig. 2.37), unde:

$$R = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega C'}$$

$$C_s = \frac{C'}{1 - \omega^2 LC'}$$

$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_p + \operatorname{tg} \delta_s + \operatorname{tg} \delta_s$ ($\operatorname{tg} \delta$ — tangenta unghiului de pierderi în condensator).

Dacă scriem frecvența de rezonanță a condensatorului: $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ condensatorul echivalent serie poate fi pus sub formă:

$$C_s = \frac{C'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2}$$

Din analiza acestor relații care dau elementele echivalente ale unui condensator real, se observă că atât capacitatea echivalentă cât și rezistența echivalentă depind de frecvență.

Prin urmare, în funcție de domeniul de frecvență al circuitului considerat, se va alege tipul constructiv de condensator care oferă elemente parazite neglijabile în domeniul respectiv; la ora actuală condensatoarele ceramice multistrat tind să înlocuiască condensatoarele ceramice simple, pe cele cu hârtie sau cu folie plastică, iar condensatoarele electrolitice cu tantal, în măsura posibilului, înlocuiesc condensatoarele electrolitice cu aluminiu.

3.1. INDUCTIVITATEA/INDUCTANȚA UNEI BOBINE

Bobina/inductorul este o componentă pasivă de circuit pentru care — în mod ideal — între tensiunea la bornele sale, $u(t)$ și curentul ce o parcurge, $i(t)$, există relația:

$$u = L \frac{di}{dt}$$

unde L [nH], [μ H], [mH], [H] = inductivitatea/inductanța bobinei și reprezintă principalul parametru caracteristic al acesteia.

Există două interpretări posibile ale noțiunii de inductanță:

a) Ca proprietate a unui circuit electric de-a se opune oricărei variații a curentului electric ce-l parcurge.

Se știe că, într-un circuit electric, variațiile curentului $i(t)$ și ale fluxului magnetic $\Phi(t)$ sînt interdependente întrucît, pe de o parte, orice variație a curentului implică o variație corespunzătoare a fluxului, iar pe de altă parte, modificarea fluxului magnetic implică apariția unei t.e.m. de autoinducție avînd tendința de-a se opune oricăror variații ale curentului/fluxului din circuit.

Întrucît fluxul magnetic și curentul electric variază direct proporțional, inductanța reprezintă coeficientul de proporționalitate respectiv, conform relației

$$\Phi(t) \text{ [Wb]} = L \text{ [H]} i(t) \text{ [A]}$$

În consecință, unitatea de măsură a inductanței, henry-ul [H], reprezintă raportul dintre fluxul magnetic de 1 Wb. (Weber) și curentul electric de 1 A.

b) Ca proprietate a bobinei de-a acumula energie în cîmp magnetic.

Se știe că, aplicînd o tensiune continuă la bornele unei bobine, aceasta produce o t.e.m. de autoinducție avînd tendința de-a se opune creșterii curentului. În consecință, întrucît această variație are totuși loc (de la 0 la I) rezultă că sursa de tensiune a cheltuit o energie suplimentară pentru a învinge opoziția bobinei. Este evident că această energie ($W_m = LI^2/2$) s-a înmagazinat în cîmpul magnetic al bobinei, iar la deconectarea sursei de tensiune continuă, bobina se comportă ca un generator de energie (permițînd — prin descărcarea energiei acumulate — scăderea curentului de la I la 0).

Ca și rezistența rezistoarelor, inductanța unei bobine depinde de temperatură conform unei relații de forma:

$$L = L_0 [1 + \alpha_L (T - T_0)]$$

unde:

L_0 — inductanța bobinei la temperatura T_0

α_L — coeficientul termic al inductanței

În general, inductanța unei bobine depinde de structura, geometria și dimensiunile acesteia.

Calculul inductanței se efectuează anterior realizării bobinei — în general cu ajutorul unor formule/relații empirice, tabele sau diagrame [10], [11], [15].

Astfel, inductanța L a unei bobine fără miez, de lungime l [cm], diametru D [cm] (sau secțiune S [cm²]) și având N spire se poate calcula cu relațiile:

$$\begin{aligned} L [\mu\text{H}] &= 4\pi N^2 S / l \quad \text{— dacă } l \gg D \\ L [\mu\text{H}] &= a N^2 D \cdot 10^{-3} \quad \text{— dacă } l \sim D \end{aligned}$$

S-a notat cu a un coeficient a cărui valoare (în funcție de raportul l/D), se află tabelată în lucrări de specialitate [10], [15].

În cazul unei bobine cu miez magnetic (de permeabilitate magnetică μ) se utilizează relația generală:

$$L = \mu N^2 S / l$$

3.2. STRUCTURA ȘI CLASIFICAREA BOBINELOR

Datorită diversității foarte mari a bobinelor utilizabile în radioelectronică, nu există o producție de serie mare (standardizată) a acestora, ca la rezistoare și condensatoare, astfel încât bobinele se construiesc numai de către utilizatori (în serii mici sau chiar ca unicat — în funcție de necesități). În general, fiecare circuit care include bobine se calculează pornind de la valorile normalizate ale celorlalte componente pasive.

Elementele componente ale unei bobine sînt (în cazul general): carcasa, înfășurarea, miezul și ecranul. Cu excepția înfășurării, celelalte elemente nu intră în mod obligatoriu în structura unei bobine:

a) *Carcasa* — constituie suportul pe care se înfășoară conductorul bobinei. Ea are, în general, o formă tubulară și este realizată din materiale ușor de prelucrat, dar cu proprietăți izolatoare deosebite și rezistență mecanică satisfăcătoare. În ordineă crescătoare a performanțelor, cele mai utilizate materiale pentru carcase sînt: cartonul electroizolant, pertinaxul, textolitul, materialele termorigide (bachelită), materialele termoplastice (polistiren, policlorvinil, polietilenă, teflon), materialele ceramice.

Din punct de vedere constructiv, carcasa tubulară pot avea secțiunea circulară (cel mai frecvent), pătrată sau dreptunghiulară; ele pot fi prevăzute cu flanșe — la extremități (pentru delimitarea/fixarea înfășurărilor) sau intermediar (tipul „cu galeți” — pentru reducerea capacităților parazite). Flanșele pot fi prevăzute cu orificii prin care se scot terminalele înfășurărilor și cu piese (coșe, capse, știfturi etc.) pentru fixare pe șasiu (sau pe placa de circuit imprimat).

b) *Înfășurarea* (bobinajul) — constituie elementul principal și indispensabil al oricărei bobine. Se caracterizează prin: diametrul/secțiunea conductorului, număr de spire, pas, număr de straturi, număr de secțiuni.

Cel mai frecvent se utilizează conductoare din cupru avînd secțiune circulară și diametre normalizate. În cazul unor curenți foarte mari, se utilizează conductoare cu secțiune dreptunghiulară sau pătrată (uneori chiar tubulară — pentru a permite răcirea cu apă) — inclusiv din aluminiu.

În cazul bobinelor de joasă frecvență (JF), conductoarele sînt izolate cu email, cu email și fibre textile sau cu fibre anorganice (sticlă), iar în cazul bobinelor de înaltă frecvență (IF) se utilizează conductoarele lițate („lița de RF”) constituite din 7—15 conductoare de diametru foarte redus și izolate individual (ansamblul lor fiind izolat — cu bumbac sau mătase).

În domeniul frecvențelor foarte înalte (FIF/UIF) se utilizează conductoare din cupru argintat, izolate cu email-mătase sau chiar neizolate (în cazul spirelor puține și rare).

Bobinajele se realizează fie monostrat (cilindrice — cu sau fără carcasă, toroidale sau „în dublu D”), fie multistrat (tip „spiră după spiră”, piramidal, „fagure” — propriu-zis sau universal).

Procesul tehnologic de bobinare se încheie cu impregnarea bobinei — în scopul protejării ei împotriva umidității dar și pentru a-i conferi o robustețe mecanică suficientă (prin rigidizarea înfășurărilor). Impregnarea constă în umplerea interstițiilor bobinajului cu lac de impregnare electroizolant.

Tehnologic, bobinajele se execută cu mașini (semi) automate de bobinat — special construite pentru anumite tipuri de bobine și bobinaje. Operațiile de impregnare se realizează manual.

c) *Miezul* — intră în componența majorității bobinelor, întrucît permite obținerea unor inductivități de valori mai mari și reglabile (în limite relativ restrinse). Se utilizează miezuri magnetice (din materiale magnetodielectrice sau din ferite) și miezuri nemagnetice (din alamă sau cupru).

d) *Ecranul* — este facultativ și se utilizează pentru a înlătura potențialele cuplaje parazite — electrice sau magnetice — cu generatoare/receptoare exterioare bobinei.

În consecință, criteriile de clasificare a bobinelor pot fi:

- considerente constructive (forma/tipul carcasei, tipul bobinajului, numărul de spire/straturi; prezența/absența miezului sau ecranului etc.);
- parametrii caracteristici obținabili (în special inductivitatea, factorul de calitate și gama frecvențelor de lucru);
- domeniul aplicațiilor preconizate (radio, TV, electronică de putere etc.).

3.3. TIPURI CONSTRUCTIVE DE BOBINE

Cel mai simplu tip de bobină (fig. 3.1) conține un singur strat de sîrmă — de ex. din cupru emailat (CuEm) — bobinată spiră lîngă spiră, pe o carcasă tubulară, fără miez magnetic.

Notînd:

$2r$ [cm] = diametrul exterior al carcasei,

n = numărul de spire bobinate,

l [cm] = lățimea bobinajului pe carcasă,

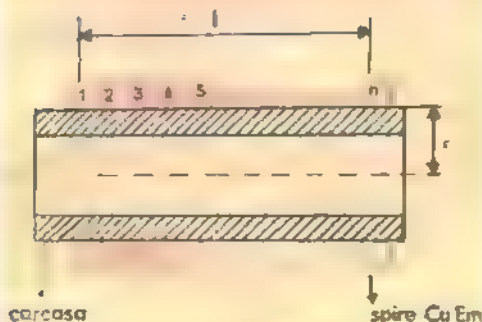


Fig. 3.1. Bobină cilindrică, monostrat.

se demonstrează (cu condiția ca $l > 0,8 r$), că inductivitatea L a bobinei este dată, aproximativ, de relația:

$$L[\mu H] \approx \frac{0,3937 r^2 n^2}{9r + 10l}$$

(= L_0 — inductanța bobinei monostrat).

Valorile L maxime ce se pot obține cu astfel de bobine nu depășesc 300 μH .

Bobinajele *monostrat* prezintă rezistențe de curent continuu, inductivități și capacități parazite reduse. Ele pot fi atât cilindrice, cât și toroidale sau „în dublu D”. În primul caz, cuplajele magnetice parazite sînt importante (perturbînd funcționarea altor componente și modificînd inductivitatea proprie), dar în celelalte cazuri cîmpul magnetic de dispersie este mult mai redus. Bobinele *monostrat* realizate cu spire distanțate (conductorul putînd fi neizolat în acest caz), au un factor de calitate Q ridicat (150 ... 400) și sînt deosebit de stabile. Bobinele *monostrat* asigură inductanțe de pînă la 200 ... 300 μH , pentru valori mai mari fiind necesare bobinele *multistrat*.

Un alt tip constructiv de bobină fără miez magnetic (fig. 3.2) — permițînd obținerea unor inductivități mari în volum mic — conține mai multe straturi de sîrmă, suprapuse și avînd — fiecare — spirele bobinate una lîngă alta.

Conductorul utilizat trebuie să fie în acest caz — în mod obligatoriu — izolat (cu email, uneori și cu mătase).

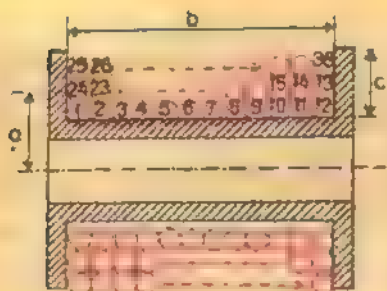


Fig. 3.2. Bobină cilindrică multistrat (pe carcasă cu flanșe).

Cărcasa — în general tubulară — este prevăzută la extremități cu flanșe pentru evitarea alunecării spirelor bobinate. Ordinea bobinării spirelor și straturilor este indicată prin numerele 1 ... 36 (pentru exemplul din figură).

Dacă a, b, c (în cm) sînt dimensiunile geometrice menționate, iar n — numărul spirelor bobinate (în total), inductivitatea L a bobinei este dată de relațiile:

$$L[\mu H] = \frac{0,315 a^2 n^2}{6a + 9b + 10c}$$

— pentru bobine scurte (la care $a \approx b \approx c$)

$$L[\mu H] = L_0 - \frac{0,0127 n^2 a c}{b} (0,893 + B)$$

— pentru bobine lungi (la care $a = b = c$)

S-au notat:

L_0 — inductanța bobinei monostrat (cu aceiași r, l, n)

ν = factor de corecție (0 ... 0,32), dat în grafice în funcție de raportul b/c [15].

Bobinajele *multistrat* spiră lângă spiră se caracterizează prin capacitate distribuită mare și pericol de străpungere a izolației (în cazul spirelor de la extremitatea straturilor, acolo unde diferențele de potențial pot fi relativ mari). Pentru reducerea pericolului de străpungere se pot introduce, între straturi, folii izolatoare (din material plastic, hirtie de condensator etc.) — deși, astfel, se obține și o creștere a volumului bobinajului.

Alte soluții pentru evitarea străpungerilor, dar și pentru reducerea capacităților proprii (parazite) constau în realizarea bobinajelor de tip:

- cilindric secționat (v. fig. 3.4);
- piramidal (recomandabil pentru obținerea inductanțelor mari, luând la tensiuni ridicate — de ex. în cazul transformatoarelor de impulsuri);

- „fagure” („propriu-zis” — cu spire distanțate sau „universal” — cu spire nedistanțate), cu sau fără secțiuni.

Toate aceste bobinaje se realizează pe carcase cilindrice, dar se pot executa și bobinaje toroidale multistrat — alunecarea straturilor evitându-se prin introducerea unor folii izolatoare între straturi.

Bobinajele multistrat se pot realiza și fără carcasă, atunci când bobina trebuie să aibă un anumit profil (de ex. în cazul bobinelor de deflexie ale tubului cinescop) sau atunci când pierderile în carcasă devin importante.

Pentru a obține inductivități de valori mari, se introduce un miez magnetic în interiorul carcasei bobinei, având rolul de-a concentra, aproape integral, liniile cîmpului magnetic.

O asemenea bobină, frecvent utilizată în domeniul frecvențelor foarte înalte este prezentată în fig. 3.3. Carcasa tubulară (filetată interior) conține un miez cilindric din ferită, montat pe un suport din material plastic (filetat exterior). Prin înșurubarea /deșurubarea acestui suport (cu ajutorul unei șurubelnițe speciale din material nemagnetic — de exemplu plastic) se poate modifica poziția miezului în raport cu bobinajul, reglînd astfel valoarea inductivității L (într-un domeniu de valori relativ redus). În varianta multistrat se obțin, evident, valori superioare de inductivități L .

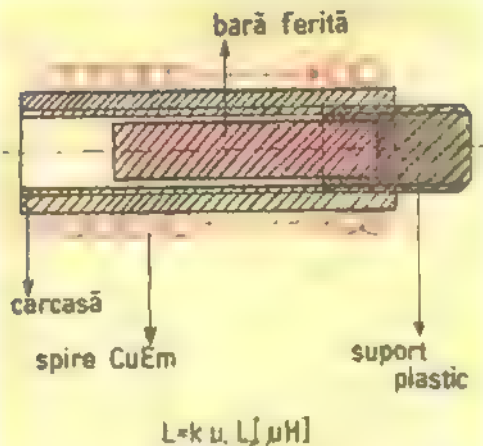


Fig. 3.3. Bobină cilindrică, monostrat, cu miez din ferită.

Notînd:

- L_0 = inductivitatea bobinei monostrat, fără miez
- μ = permeabilitatea magnetică, relativă a miezului
- k = constantă (depinzînd de dimensiunile bobinei și ale miezului precum și de poziția relativă a acestora),

valoarea inductivității L este dată de relația

$$L[\mu H] = k\mu_r L_0[\mu H]$$

Majoritatea bobinelor utilizate în echipamentele electronice au în componența lor un miez magnetic care, din punct de vedere constructiv, poate fi: secționat (deschis sau închis) — de obicei de formă cilindrică ori tubulară — sau închis — în general de formă toroidală.

Miezurile se realizează din materiale feromagnetice moi — fie sub formă de laminate (ca tole sau benzi din aliaje Fe-Si, Fe-Ni etc.), fie ca pulbere (intrând în structura materialelor magnetodielectrice sau magnetoceramice — „feritele”).

Construcția miezurilor permite, în general, modificarea inductanței prin deplasarea miezului în raport cu înfășurarea (bobinajul).

Există și miezuri nemagnetice realizate din alamă sau cupru.

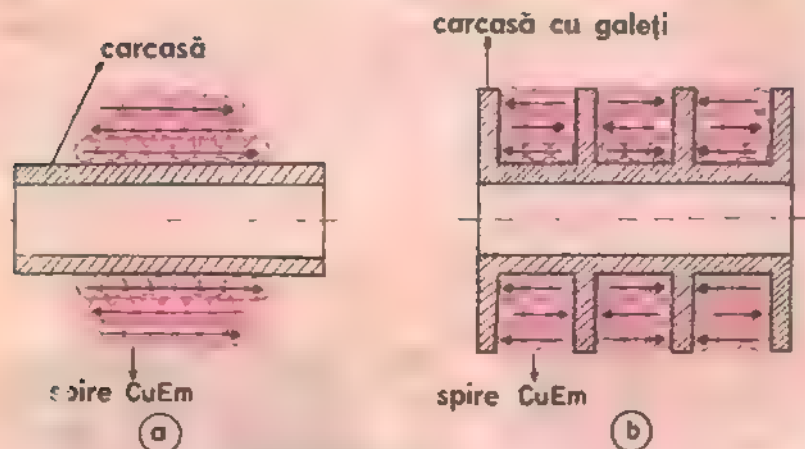


Fig. 3.4. Alte tipuri de bobine/bobinaje.

Pe lângă tipurile de bobine și bobinaje prezentate mai sus, se pot realiza (cu sau fără miez magnetic) și alte tipuri, ca de ex.:

a) bobinaj cilindric pe carcasă fără flanșe (fig. 3.4 a).

Pentru ca spirele marginale să nu alunece este necesar ca stratul n să conțină cu cel puțin o spirală mai puțin decât stratul $n-1$.

b) bobinaj cilindric secționat cu flanșe intermediare (fig. 3.4 b). Carcasa este prevăzută în acest caz cu mai multe flanșe (galeți) delimitând secțiunile bobinei. Numărul spirelor din fiecare astfel de secțiune fiind redus, scade capacitatea proprie (parazită). În plus, întrucât spirele între care există diferențe mari de potențial sînt îndepărtate, se evită complet străpungerile electrice.

În ambele cazuri, săgețile din figuri indică sensul de efectuare a bobinării.

O bobină plată, realizată cu ajutorul tehnologiei cablajelor imprimate sub forma unei spirale (circulare sau dreptunghiulare) este o bobină imprimată (fig. 3.5). Se pot obține astfel inductivități relativ mici ($0,1 \dots 10 \mu\text{H}$) și factori de calitate între $50 \dots 200$ (depinzând de calitatea suportului electrozolant și de rezistivitatea conductorului plan).

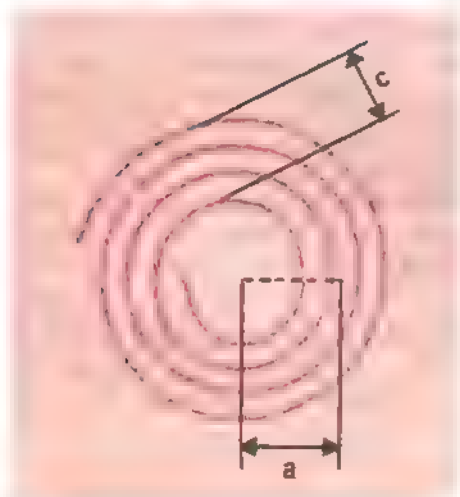


Fig. 3.5. Bobină imprimată (plată).

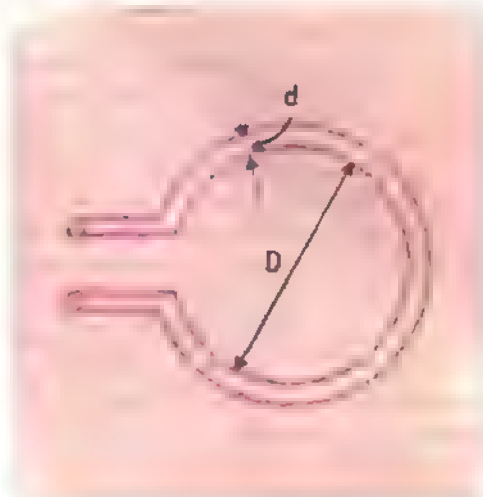


Fig. 3.6. Bobină monospiră fără carcasă.

Notînd (pentru bobina spirală circulară):

a [cm] = raza medie

c [cm] = lățimea spiralei

inductivitatea L a bobinei se poate calcula cu relația:
$$L[\mu\text{H}] = \frac{a^2 n^2}{20\pi + 28c}$$

În domeniul frecvențelor foarte înalte (FIF/UIF) se utilizează bobine fără-carcasă, realizate din conductor relativ gros ($d \geq 1 \text{ mm}$, în general neizolat) și avînd una (fig. 3.6) sau mai multe spire.

În primul caz, cu condiția ca diametrul D al spirei să fie mai mare decît lungimea de undă corespunzătoare semnalului aplicat și cunoscînd d , D (în centimetri), valoarea inductanței se poate calcula cu relația aproximativă:

$$L[\mu\text{H}] = 0,00628 D \left(2,31 \lg \frac{8D}{d} - 2 \right)$$

Inductivitatea bobinelor fără carcasă („cu aer”) avînd $n = 1 \dots 10$ spire se poate determina și din tabele (în funcție de diametrul interior, diametrul conductorului și numărul de spire) — de exemplu din lucrarea [10].

3.4. ECRANAREA BOBINELOR

Prin structura și funcționarea sa, orice bobină se poate cupla inductiv (prin cîmp magnetic) sau capacitiv (prin cîmp electric) cu diferite genera-toare /receptoare exterioare de semnal parazit.

Pentru reducerea (sau chiar anularea) acestor cuplaje potențiale și nedorite, bobinele sînt protejate cu ajutorul unor ecrane magnetice (respectiv electrice) special construite și în general, conectate la masă. Materialul și forma acestor ecrane se aleg în funcție atât de rolul acestora cît și de frecvența cîmpului magnetic (electric) perturbator. Astfel:

— pentru ecranare magnetică în joasă frecvență (JF) se utilizează materiale feromagnetice cu permeabilitate relativă mare (de ex. „permalloy”). Plasînd bobina în interiorul unui ecran de formă paralelipipedică sau cilindrică (fără contact între acesta și miez), se obține un efect de ecranare cu atât mai eficient cu cît ecranul este mai departe de miez și cu cît reluctanța materialului ecranului este mai mică (în consecință, peretele ecranului trebuie să fie gros sau subțire, dar cu mai multe straturi);

— pentru ecranare magnetică la frecvențe medii și înalte (FI, RF) se folosesc materiale conductoare cu conductibilitate ridicată (Al, Cu) — fig. 3.7 a. Și în acest caz, bobina se plasează în interiorul ecranului (avînd formă paralelipipedică sau cilindrică), dar efectul de protecție se realizează prin acțiunea curenților turbionari induși (în circuitul electric închis prin peretele ecranului) de cîmpul magnetic exterior. Acești curenți, la rîndul lor, creează un cîmp magnetic ce se opune efectului perturbator. Întrucît aluminiul este mai ieftin decît cuprul, de regulă se realizează astfel de ecrane din aluminiu;

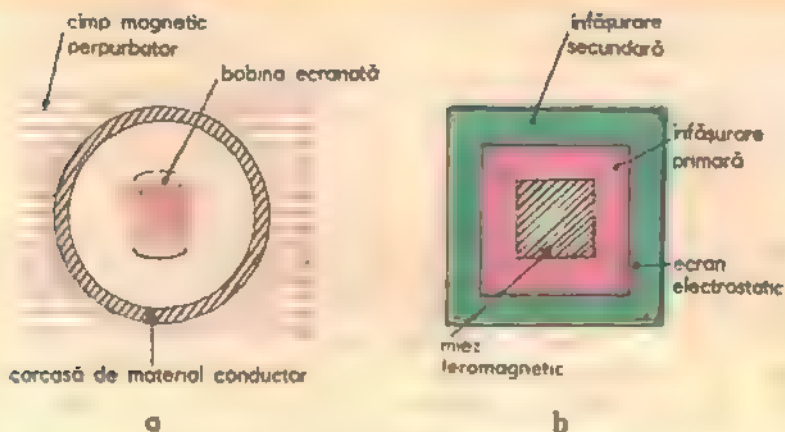


Fig. 3.7. Ecranarea bobinelor.

— pentru ecranarea electrostatică la joasă frecvență — de ex. în cazul transformatoarelor — se poate reduce efectul capacităților parazite dintre primar și secundar introducînd între aceste înfășurări o folie conductivă separatoare, conectată galvanic la potențial nul (fig. 3.7 b). Ecranul electrostatic astfel obținut nu trebuie să se închidă pentru a nu forma o spiră în scurtcircuit.

De menționat că orice ecran magnetic complet închis și realizat din material electroconductiv este și un ecran electrostatic (obținîndu-se „cușca Faraday”).

Efectul de ecranare este măsurat prin raportul dintre intensitățile câmpului electric/magnetic (în exteriorul bobinei) în prezența, respectiv în absența ecranului. Valori uzuale de ordinul $1/100 \dots 1/20$ semnifică o ecranare suficient de eficientă, în majoritatea cazurilor. Pentru creșterea efectului ecranării, în practică se utilizează uneori două sau chiar trei ecrane pentru o aceeași bobină.

De remarcat că, totodată, ecranul influențează parametrii bobinei, cu atât mai puternic cu cât pereții acestuia sînt situați mai aproape de bobină. Plasînd un cilindru din ferită între ecran și bobină se reduce mult câmpul magnetic exterior al bobinei (deci și cuplajul acestora cu ecranul) devenind astfel posibilă micșorarea dimensiunilor de gabarit ale bobinei avînd ecran.

Stabilitatea bobinelor ecranate este inferioară celei a bobinelor neecranate, deoarece factorii de influență (timpul, temperatura, umiditatea etc.) acționează și asupra dimensiunilor geometrice și parametrilor electrice ai ecranului.

3.5. CARACTERISTICI PRINCIPALE ȘI CIRCUITE ECHIVALENTE

Cei mai importanți parametri caracteristici ai unei bobine reale, cu pierderi, sînt:

- inductivitatea (inductanța) L [H] — definită ca un raport între fluxul magnetic propriu Φ și curentul I care parcurge bobina ($L = \Phi/I$). Acest parametru depinde de: formă, dimensiunile, numărul de spire al bobinei precum și de permeabilitatea relativă a mediului (miezului) și de temperatura de lucru. El caracterizează o bobină ideală și are valori uzuale (în radioelectronică) de ordinul $nH \dots H$;

- rezistența totală de pierderi R [Ω] (sau r [Ω]) — determinată atât de pierderile în conductor (prin efect Joule — în cc./c.a. — și efect pelicular — în c.a.) cît și de pierderile în materialul magnetic (prin curenți turbionari și prin histerezis) și de rezistența de izolație. Acest parametru depinde în mod esențial de frecvența de lucru (fiînd mai mare la frecvențe înalte).

De remarcat că inductivitatea L caracterizează comportamentul util al bobinei ca element reactiv, în timp ce rezistența de pierderi R caracterizează pierderile de putere activă în bobină;

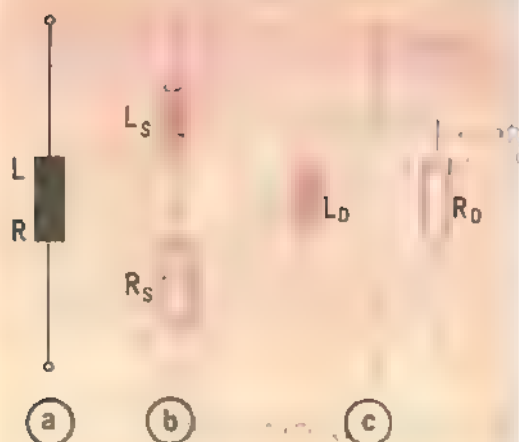
- factorul de calitate Q [—] — definit la o anumită frecvență de lucru ca raportul dintre energia maximă existentă în câmpul magnetic al bobinei și energia disipată (de aceasta) sub formă de căldură într-o perioadă.

Bobinele utilizate în echipamentele radioelectronice au, în general, $Q=0 \dots 300$;

- capacitatea (parazită) proprie, C_p [pF] — determinată de suma capacităților distribuite între spirele bobinei precum și dintre acestea și masă. Acest parametru depinde în mod esențial de dimensiunile și numărul de spire al bobinei, avînd valori de ordinul pF \dots sute pF;

- stabilitatea (parametrilor bobinei) — definită prin variația parametrilor de mai sus în funcție de timp („îmbătrînirea”) sau sub influența temperaturii, umidității, vibrațiilor etc.;

- puterea, tensiunea și curentul maxim admise pentru a nu produce transformări ireversibile în bobină.



Orice bobină reală (fig. 3.8 a) poate admite două tipuri de circuite echivalente:

● circuitul echivalent — serie (L_S, R_S) — fig. 3.8 b

● circuitul echivalent — paralel (L_D, R_D) — fig. 3.8 c

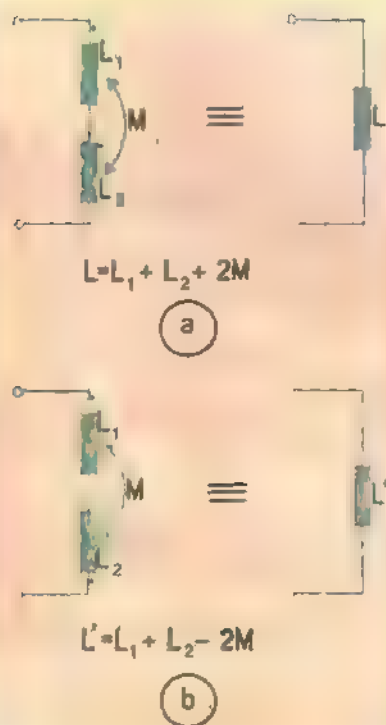
Se demonstrează că:

$$L_D = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{\omega^2 L_S}$$

$$R_D = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{R_S}$$

$$Q = \frac{\omega L_S}{R_S} = \frac{R_D}{\omega L_D}$$

Fig. 3.8. Circuite echivalente ale bobinei reale.



Prin conectarea în serie a două înfășurări — avînd inductivitățile L_1 și L_2 — se obține o bobină cu inductanța echivalentă $L = L_1 + L_2$ (dacă cele două înfășurări nu sînt cuplate prin cîmp magnetic).

În cazul existenței unui cuplaj magnetic între bobinele conectate în serie, inductanța echivalentă este:

$L = L_1 + L_2 + 2M$ — dacă bobinele au același sens (fig. 3.9 a)

$L' = L_1 + L_2 - 2M$ — dacă bobinele au sensuri opuse (fig. 3.9 b)

Sensul unei bobine se referă la curentul electric ce o parcurge, deci la fluxul magnetic obținut. De regulă, se indică pe schemele cu inductanțe cuplate magnetic, printr-un asterisc (*), punctul de început a înfășurărilor (prin care intră curentul electric).

Fig. 3.9. Circuitul echivalent al unei bobine cu două înfășurări conectate în serie și cuplate magnetic.

S-au notat: $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ — inductanța mutuală (sau de cuplaj) a înfășurărilor L_1 și L_2
 k ($=0 \dots 1$) — coeficient de cuplaj al bobinelor depinzând de geometria și poziția relativă a celor două înfășurări)

Pentru două bobine cuplate magnetic, inductanța mutuală M este, prin convenție, pozitivă — dacă bobinele implicate au același sens și negativă — în caz contrar (v. fig. 3.9).

Un caz particular al situației precedente îl reprezintă circuitul din fig. 3.10, la care punctul median al înfășurărilor (de obicei o „priză”) constituie borna de intrare 1 (borna 2 avînd rol de ieșire). Întrucît înfășurările L_1 și L_2 sînt și cuplate magnetic (prin inductanța mutuală M), cuadripolul funcționează ca un transformator.

De remarcat că, în general, impedanța de ieșire a generatorului (conectat la bornele 1—1') fiind mare, inductanța echivalentă ($-M$) se poate neglija.

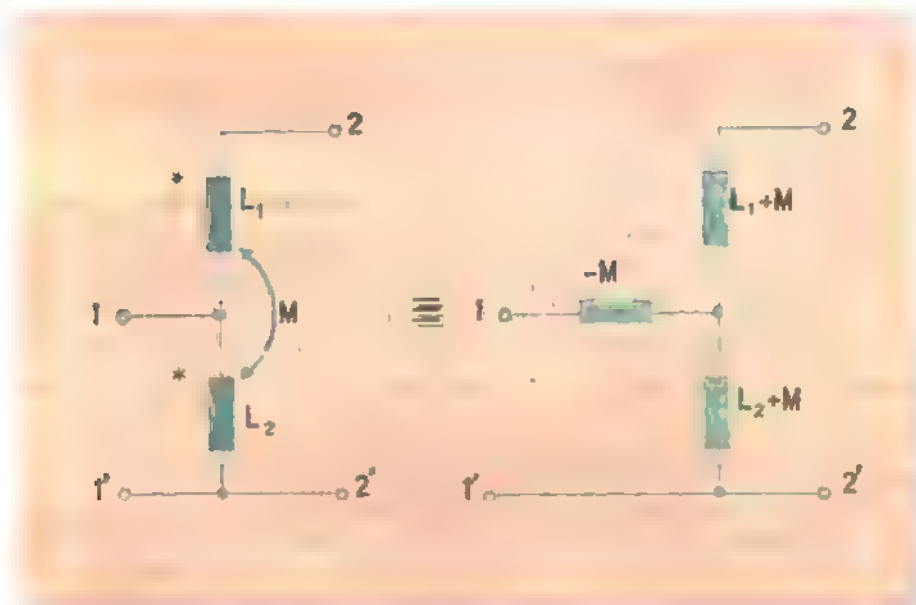


Fig. 3.10. Circuitul echivalent al unei bobine (cu două înfășurări inserate și cuplate magnetic) avînd intrarea pe priză.

3.6. APLICAȚII ALE BOBINELOR

3.6.1. TRANSFORMATORUL

Două sau mai multe bobine cuplate — amplasate pe același miez magnetic — formează un transformator.

În varianta sa cea mai simplă (fig. 3.11), el conține 2 bobine L_1 , L_2 — independente și cuplate exclusiv prin câmp magnetic.



Fig. 3.11. Circuitul echivalent în T al unui transformator.

Aplicând la bornele de intrare $I-I'$, înfășurării primare L_1 , o putere electrică P_1 (sub tensiunea U_1 și curentul I_1), rezultă la bornele de ieșire $2-2'$ (ale înfășurării secundare L_2) puterea electrică P_2 (sub tensiunea U_2 și curentul I_2), astfel încât, dacă $U_2 > U_1 \rightarrow I_2 < I_1$ și dacă $U_2 < U_1 \rightarrow I_2 > I_1$. (Obs.: U , respectiv I , sînt amplitudinile semnalelor $u(t)$, $i(t)$).

Considerînd, în mod ideal, că $P_1 = P_2$ (în realitate $P_2 < P_1$ datorită pierderilor în miezul magnetic și în înfășurări), rezultă: $n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$ = raport de transformare.

Cunoscînd inductanța mutuală M se poate determina schema echivalentă a unui transformator, ca în fig. 3.11.

În funcție de destinația lor, transformatoarele se pot clasifica în:

— transformatoare de alimentare (în general la frecvența rețelei, de 50 Hz). Dacă între primar și secundar există și un cuplaj galvanic (asigurînd transferul unor puteri mai importante) — cu sau fără posibilitatea reglării tensiunii de ieșire — este vorba de un „autotransformator”.

— transformatoare de semnal (de audiofrecvență sau de radiofrecvență, cu sau, respectiv, fără miez magnetic). Ele se utilizează pentru adaptarea impedanțelor sau nivelelor de tensiune/curent, pentru cuplarea etajelor de amplificare, pentru izolarea galvanică (în c.c.) a unor circuite etc.

Transformatoarele reprezintă — alături de bobinele de șoc — cele mai voluminoase și mai grele componente din structura echipamentelor electronice. Astfel, ele pot reprezenta pînă la 20% din volumul și pînă la 40% din masa unui astfel de echipament [14].

În practică se utilizează, în principal, transformatoare avînd structură și performanțe standardizate/normalizate — dar și unele tipuri special proiectate.

3.6.2. CIRCUITUL RLC SERIE

Conectînd în serie o bobină reală L (avînd rezistența de pierderi r_L) și un condensator real C (cu rezistența de pierderi r_C) la bornele unui generator de tensiune E_g (de frecvență f și rezistență internă R_g), rezultă circuitul echivalent RLC serie din fig. 3.12.

S-au notat:

$r = r_L + r_C + R_g =$ rezistența totală de pierderi

$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} =$ frecvența de rezonanță

$Q_0 = \omega_0 L / r = 1/\omega_0 C r =$ factorul de calitate

Reprezentînd grafic, în funcție de frecvența f , variațiile reactanțelor:

— bobinei: $X_L = \omega L$ (fig. 3.13 a)

— condensatorului:

$X_C = -\frac{1}{\omega C}$ (fig. 3.13 b)

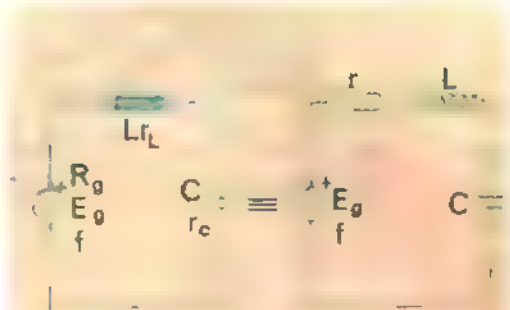


Fig. 3.12. Circuite LC și RLC serie.



Fig. 3.13. Variația reactanțelor X_L , X_C , X_T , cu frecvența f .

— circuitului echivalent serie: $X_T = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ (fig. 3.13 c),
se observă că reactanța totală X_T se anulează la frecvența f_0 , pentru $\omega^2 = 1/LC = \omega_0^2 = (2\pi f_0)^2$, adică atunci cînd frecvența semnalului

($\omega=2\pi f$) coincide cu frecvența proprie a circuitului ($\omega_0=2\pi f_0$) numită și „frecvența oscilațiilor libere din circuit” sau „frecvența de rezonanță a circuitului”.

Impedanța echivalentă a unui circuit RLC serie este (în complex):

$$Z=Z(j\omega)=R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)=\sqrt{R^2+X^2}e^{j\varphi}=|Z|\angle\varphi$$

Notînd:

$$Q_0=\omega_0 L/R=1/\omega_0 CR$$

$$\beta=f/f_0-f_0/f\approx 2\Delta f/f_0 \text{ (la } \Delta f \text{ mic)}$$

$x=\beta Q_0$ (— variabilă normalată, „dezacord generalizat”), rezultă

$$Z=R(1+jx)$$

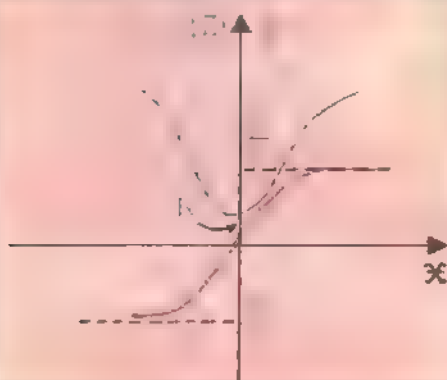


Fig. 3.14. Variația modulusului și fazei impedanței circuitului RLC serie.

Reprezentînd, în funcție de variabila x , modulusul $|Z|$ și faza φ determinînd impedanța Z , rezultă curbele din fig. 3.14. Se observă că la rezonanță ($f=f_0$; $\beta=0$):

— impedanța echivalentă $|Z|$ are un caracter pur rezistiv ($X=0$; $|Z|=R$) și este minimă; în consecință curentul prin circuit este, în acest caz, maxim;

— faza echivalentă φ este nulă, astfel încît tensiunea la bornele circuitului și curentul prin circuit sînt în fază.

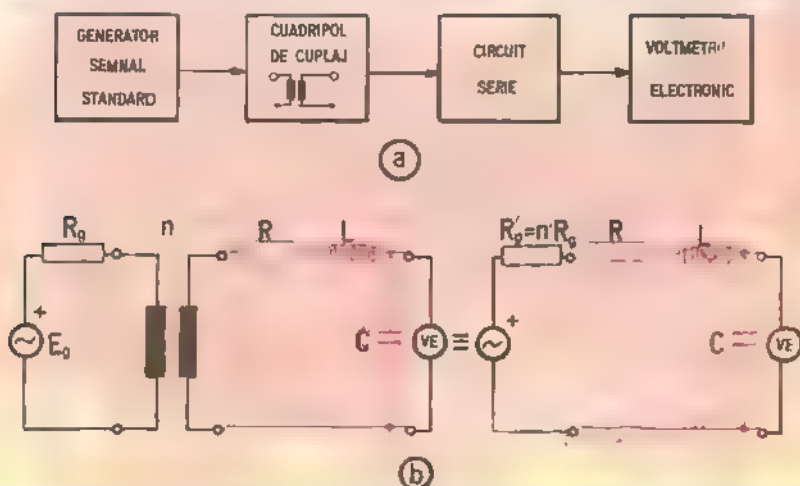


Fig. 3.15. Schema montajului experimental pentru ridicarea caracteristicilor circuitului RLC serie: a) schemă bloc; b) scheme electrice.

Comportarea remarcabilă a circuitului RLC-serie în jurul frecvenței de rezonanță f_0 face ca — în aplicații — acesta să lucreze numai la frecvențe $f \approx f_0$.

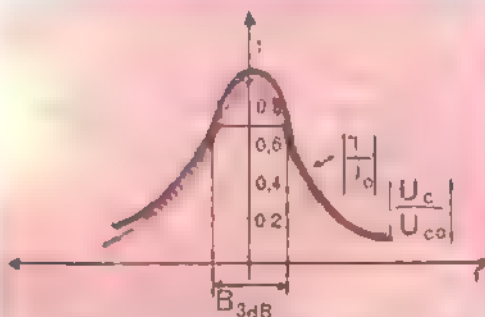
Pentru determinarea experimentală și studierea caracteristicilor unui circuit RLC serie se utilizează configurația de măsură avînd schema bloc din fig. 3.15 a.

Generatorul de semnal standard GSS furnizează semnale de radiofrecvență (avînd frecvența f și amplitudinea E_g necesare). Cuadripolul de cuplaj este un transformator intercalat între generator și circuitul RLC-serie cu scopul de-a reduce influența rezistenței interne (de ieșire) R_g a generatorului asupra circuitului RLC serie măsurat. Transformînd schema echivalentă din fig. 3.15 b se observă că rezistența internă R_g devine $R'_g = n^2 R_g$ — unde n = raportul de transformare al cuadripolului de cuplaj ($n < 1$).

Voltmetrul electronic VE permite măsurarea tensiunilor de RF din circuit (de ex. pe condensatorul C).

În fig. 3.16 sînt prezentate principalele caracteristici ce pot fi determinate cu ajutorul schemei din fig. 3.15:

Fig. 3.16. Caracteristicile de selectivitate ale circuitului RLC serie.



— variațiile curentului normal $|I/I_0|$ prin circuit și ale tensiunii normale $|U_c/U_{c0}|$ (la bornele condensatorului C) — în funcție de frecvența f .

S-au notat:

$I = E_g/Z$ = curentul prin circuitul RLC serie

$I_0 = E_g/R_t$ = curentul la rezonanță (valoare maximă)

$R_t = R_g + R$ = rezistența totală (v. fig. 3.15)

$U_c = (1/j\omega C)(E_g/Z)$ = tensiunea la bornele condensatorului

$B_{3dB} = f_0/Q$ = banda (de trecere) la 3 dB a circuitului

Prin convenție și definiție banda la 3 dB este determinată de scăderea la $1/\sqrt{2} = 0,707$ din valoarea sa maximă a curentului normal $|I/I_0|$ (ceea ce corespunde înjumătățirii puterii din circuit, la extremitățile acestei benzi). Cu alte cuvinte, banda la 3 dB reprezintă un ecart de frecvență (în jurul frecvenței de rezonanță) la extremitățile căruia atenuarea semnalului este de 3 dB ($\sqrt{2}$ ori).

Din simetria geometrică a caracteristicii de selectivitate ($|I/I_0|$ în funcție de f) rezultă că banda reală la 3 dB (B_{3dB}) este riguros egală cu raportul dintre frecvența de rezonanță (f_0) și factorul de calitate al circuitului (Q). În consecință, un circuit este cu atât mai selectiv cu cît factorul său de calitate este mai mare.

Se demonstrează că $|U_c/U_{c0}| = (\omega_0/\omega) (I/I_0)$; deci, în jurul frecvenței de rezonanță, caracteristica de selectivitate I/I_0 poate fi reprezentată, cu bună aproximație, de caracteristica $|U_c/U_{c0}|$ — ambele în funcție de frecvența f . Îndepărtându-ne de rezonanță, circuitul RLC serie are un comportament capacitiv (la frecvențe mai joase) sau inductiv (la frecvențe mai înalte), în apropierea rezonanței fiind pur rezistiv.

Se demonstrează că, la rezonanță, tensiunile la bornele bobinei și ale condensatorului au valori maxime și egale ($U_L = U_C = QE_g$), fiind defazate (între ele — cu 180° și, față de U_R — cu 90° , înainte și, respectiv, înapoi) și de Q ori mai mari decât tensiunea aplicată de la generator, circuitului RLC serie. Din aceste considerente, rezonanța circuitului serie este o rezonanță de tensiune, iar factorul de calitate Q se mai numește și „factor de supratensiune”. La proiectarea unui asemenea circuit este necesar să se țină seama de creșterea importantă — la rezonanță — a tensiunii la bornele elementelor reactive.

Circuitele rezonante RLC serie pot fi utilizate pentru generarea unor oscilații neamortizate (întreținute), pierderile (datorate rezistenței totale R_t) fiind compensate prin conectarea periodică a circuitului rezonant (oscilant) la o sursă de t.e.m. capabilă să introducă în circuit energia echivalentă pierderilor.

Totodată, un circuit RLC serie se poate utiliza și pentru adaptarea de impedanță/rezistență. Astfel, de exemplu, circuitul RLC serie din fig. 3.17 realizează adaptarea rezistenței (reduse) de ieșire R_g a generatorului tensiunii E_g la rezistența de sarcină R_s (mare).

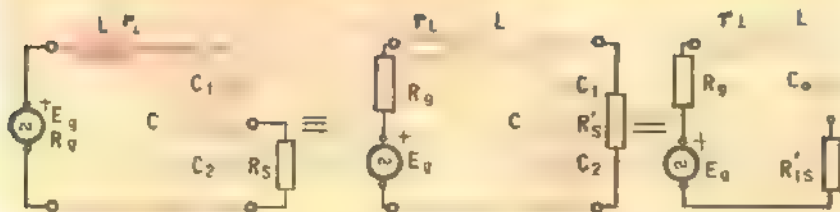


Fig. 3.17. Utilizarea circuitului RLC serie pentru adaptarea de impedanță/rezistență.

Prin transformarea succesivă a circuitului inițial (eliminarea prizei mediane și transformarea reactorului disipativ) rezultă condiția de adaptare (transfer maxim de putere): $R_g = R_L + R_{1s}$.

S-au notat:

$$C_0 = C + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \text{capacitatea echivalentă de acord}$$

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC_0} = \text{frecvența de rezonanță}$$

$R_s = p^2 R_g$ = rezistență de sarcină echivalentă (după eliminarea prizei mediane)

$$R_{1s} = p^2/\omega^2 C_0^2 R_g = \text{rezistența de sarcină echivalentă serie}$$

$$p = C_1/(C_1 + C_2) = \text{factor de priză pe condensatoare}$$

3.6.3. CIRCUITUL RLC DERIVAȚIE

Conectînd în paralel o bobină reală L (cu rezistența de pierderi r_L) și un condensator real C (cu rezistența de pierderi r_C) la bornele unui generator de curent I_0 , rezultă circuitul RLC derivație (sau paralel) din fig. 3.18. În schema echivalentă, pierderile sînt concentrate în rezistența r , iar elementele reactive sînt considerate ideale. S-au notat

$r = (r_L \cdot r_C) / (r_L + r_C) =$ rezistența totală de pierderi

$$Z(\omega) = 1 / \left(\frac{1}{r} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \right) = r / (1 + jx) = \text{impedanța circuitului}$$

$$f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{LC} = \text{frecvența de rezonanță}$$

$$Q = r / \omega_0 L = \omega_0 C r = \text{factor de calitate}$$

$$x = \beta Q = \text{variabila normalată}$$

Impedanța echivalentă a circuitului RLC derivație din fig. 3.18 rezultă astfel (presupunînd impedanțele ramurilor reactive de forma $R_i + jX_i$):

$$Z(j\omega) = \frac{(R_1 + jX_1)(R_2 + jX_2)}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2)} \approx \frac{-X_1 X_2}{R_2 + jX_2} = \frac{-X_1 X_2}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + jx} = \frac{-R}{1 + jx}$$

întrucît, în general, $R_1 \ll X_1$ și $R_2 \ll X_2$ și notînd:

$$R_s = R_1 + R_2; \quad X_s = X_1 + X_2; \quad x = X_s / R_s = \beta Q;$$

$$|Z(j\omega_0)| = R \text{ (impedanța la rezonanță)}.$$

Reprezentînd în funcție de variabila normalată x , modulul $|Z| = R / \sqrt{1 + x^2}$ și faza $\varphi = -\arctg x$ ale impedanței Z , rezultă curbele din fig. 3.19.



Fig. 3.18. Circuitul RLC derivație.

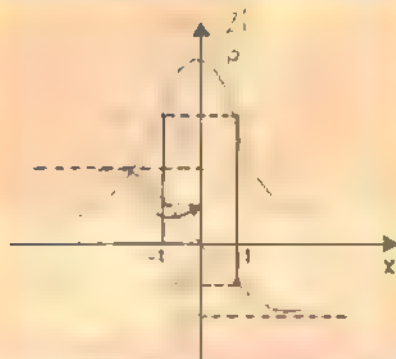


Fig. 3.19. Variația modului și fazei impedanței circuitului RLC derivație.

Se observă că la rezonanță ($f = f_0$; $\beta = 0$):

- impedanța echivalentă are un caracter pur rezistiv ($x = 0$, $|Z| = R$) și este maximă; deci, în aceste condiții, curentul prin circuit este minim;
- faza echivalentă φ este nulă, astfel încît tensiunea la bornele circuitului și curentul prin circuit sînt în fază.

Reprezentînd grafic, în funcție de frecvența f (fig. 3.20), variațiile susceptanțelor:

În cazul circuitului RLC derivație funcționând la rezonanță această condiție implică satisfacerea relației:

$$Z_p = Z(j\omega_0) \text{ unde } Z(j\omega_0) = \omega_0 L Q = \frac{1}{\omega_0 C} Q = \frac{L}{CR_s} = R$$

S-a notat: $R_s = R_1 + R_2 = r_L + r_c$, iar R = impedanța pur rezistivă a circuitului RLC derivație, la rezonanță.

În consecință, pentru obținerea transferului maxim de putere este necesar ca generatorul semnalului aplicat circuitului oscilant să aibă o rezistență internă foarte mare ($Z_g = R$) — condiție, în general, greu de realizat, mai ales în cazul circuitelor cu tranzistoare.

În scopul reducerii impedanței de sarcină a generatorului de semnal se utilizează circuite RLC derivație, fie cu priză pe bobină, fie cu priză pe condensator. În acest caz, bobina (respectiv condensatorul) se divide în două componente L' , L'' (respectiv C' , C'') astfel încât $L = L' + L''$ (respectiv $C = C' + C''$).

Se definesc „factori (coeficienți) de priză”, pe bobină ($p = L'/L < 1$) sau pe condensator ($p = C'/C < 1$) obținându-se astfel impedanțe (la rezonanță) reduse în raportul p^2 (întrucât $Z'(j\omega_0) = p^2 \frac{L}{CR_s}$).

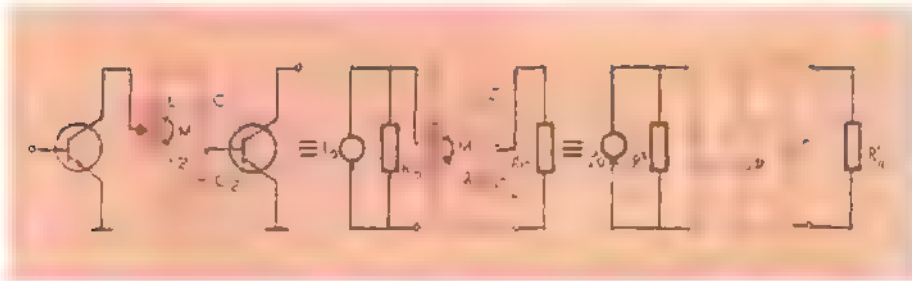


Fig. 3.23. Utilizarea circuitului RLC derivație pentru adaptarea de impedanță.

Fig. 3.23 exemplifică utilizarea unui circuit RLC derivație pentru cuplarea a două etaje de amplificare (de RF, cu tranzistoare), în condițiile transferului maxim de putere. Transformările echivalente succesive evidențiază modul în care se obține adaptarea de impedanță.

S-au notat:

$$p_1 = \frac{L_1 + M}{L_1 + L_2 + 2M} = (L_1 + M)/L = \text{coeficientul de priză pe bobină}$$

$$p_2 = C_1/(C_1 + C_2) = \text{coeficientul de priză pe condensator}$$

$$R_0' = R_0/p_1^2 = \text{rezistența echivalentă derivație a generatorului}$$

$$R_{in}' = R_{in}/p_1^2 = \text{rezistența echivalentă derivație de intrare în etajul următor}$$

$$I_0 = I_0 p_1 = \text{generatorul echivalent de curent}$$

Reprezentînd variația tensiunii (la rezonanță) U_{20} — de la bornele circuitului RLC derivație — în funcție de coeficientul de priză p_1 se obține curba din fig. 3.24 care admite un maxim pentru

$$p_1 = p_{10} = \sqrt{\frac{R_0'(R + R_{in}')}{RR_{in}'}}$$

Valoarea p_{10} determină priza la care se realizează transferul maxim de putere.

Pentru cuplarea a două etaje amplificatoare de bandă îngustă, circuitul RLC derivație poate fi utilizat și conform schemelor din fig. 3.25:

— cuplarea colectorului tranzistorului din etajul precedent prin inductanță mutuală și a bazei tranzistorului din etajul următor prin priză capacitivă (fig. 3.25 a);

— cuplarea directă a colectorului tranzistorului din etajul precedent și — prin inductanță mutuală — a bazei tranzistorului din etajul următor (fig. 3.25 b).

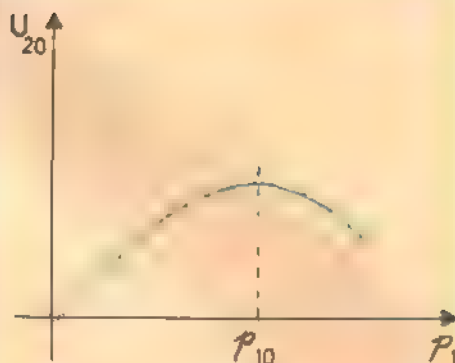


Fig. 3.24. Dependența tensiunii U_{20} de coeficientul de priză p_1 .

3.6.4. CIRCUITE CUPLATE

Circuitele cuplate (oscilante) sînt constituite — în general — din două circuite (oscilante) de tip serie sau derivație între care se stabilește un transfer de energie, prin intermediul unui cuplaj (inductiv, capacitiv, rezistiv sau mixt).

Circuitul cuplat de intrare (la care se aplică semnalul de la un generator) se numește circuit primar, iar circuitul cuplat de ieșire (la care se conectează impedanța de sarcină) este circuitul secundar.

În funcție de impedanța Z_g (rezistența R_g) internă (de ieșire) a generatorului, aceasta se conectează fie în serie (la Z_g sau R_g mici — generator de tensiune), fie în paralel (la Z_g sau R_g mari — generator de curent) cu circuitul primar.

Structurile cele mai frecvent utilizate de circuite cuplate și cuadripolii de cuplaj corespunzători sînt prezentați în fig. 3.26.

a) circuite RLC serie cuplate (inductiv) prin inductanța mutuală M .

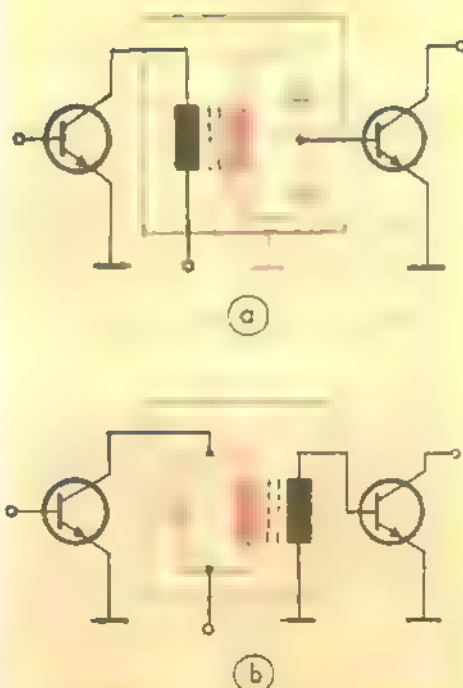


Fig. 3.25. Variante de utilizare a circuitului RLC derivație pentru cuplarea a 2 etaje de amplificare.

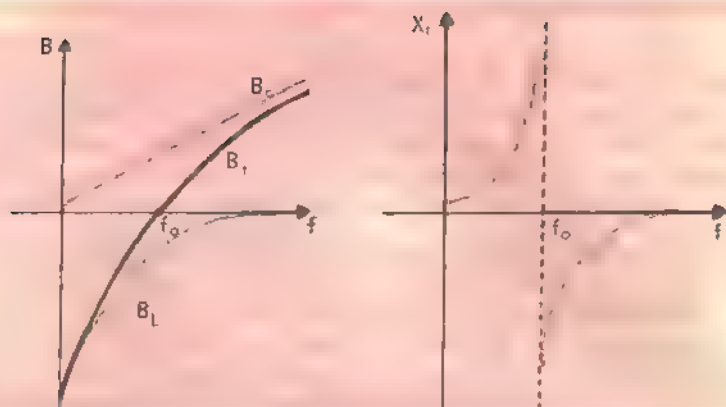


Fig. 3. 20. Variația susceptanțelor B_L , B_C , B_t și a reactanței echivalente X_r ale circuitului RLC derivație.

— bobinei: $B_L = -\frac{1}{\omega L}$

— condensatorului: $B_C = \omega C$

— circuitului echivalent derivație $B_t = B_L + B_C = \omega C - \frac{1}{\omega L}$

și variația reactanței echivalente $X_r = \frac{-1}{B_t} = \frac{X_C X_L}{X_C - X_L}$, se observă că susceptanța totală B_t se anulează la frecvența f_0 , pentru $\omega^2 = \frac{1}{LC} = \omega_0^2 = (2\pi f_0)^2$, adică

atunci când frecvența semnalului ($\omega = 2\pi f$) coincide cu frecvența proprie a circuitului ($\omega_0 = 2\pi f_0$), — numită și „frecvența de rezonanță derivație” sau „frecvența de antirezonanță” a circuitului RLC derivație. Spre deosebire de circuitul RLC serie, la frecvența de rezonanță reactanța totală echivalentă a circuitului RLC derivație tinde asimptotic spre infinit (practic admite valori maxime).

Comportarea remarcabilă a circuitului RLC derivație în jurul frecvenței de rezonanță f_0 face ca — în aplicații — acesta să lucreze numai la frecvențe $f = f_0$.

Pentru determinarea experimentală și studierea caracteristicilor unui circuit RLC derivație se utilizează configurația de măsură avînd schema-bloc din fig. 3.21.

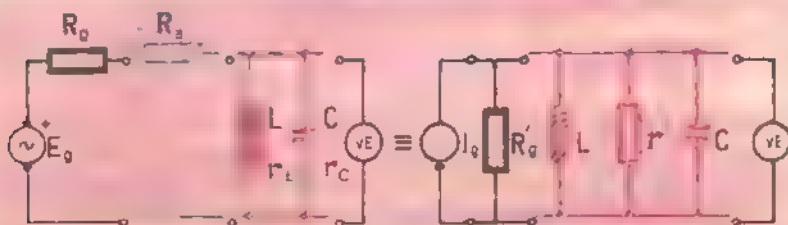


Fig. 3.21. Schema montajului experimental pentru ridicarea caracteristicilor circuitului RLC derivație.

Generatorul de tensiune (furnizind tensiunea E_g și avînd rezistența internă R_g) este transformat în generator de curent (generînd curentul I_g și avînd rezistența internă R_g') cu ajutorul rezistenței adiționale serie R_a . Curentul generatorului de curent echivalent se determină cu relația: $I_g \approx E_g / (R_g + R_a)$.

Notînd $r = (r_L, r_C) / (r_L + r_C) =$ rezistența totală de pierderi a circuitului, condiția ca generatorul să nu afecteze circuitul măsurat este: $R_g + R_a \gg r$.

Voltmetrul electronic VE măsoară tensiunile la bornele circuitului RLC derivație.

În fig. 3.22 este prezentată variația în modul a tensiunii normate $|U_2/U_{20}|$ la bornele circuitului RLC derivație în funcție de frecvența f .

S-au notat:

$U_2 = Z I_g =$ tensiunea pe circuitul RLC derivație

$U_{20} = R I_g =$ tensiunea pe circuit la frecvența de rezonanță

$B_{-3dB} = f_0 / Q =$ banda (de trecere) la 3 dB a circuitului.

Presupunînd curentul injectat I_g constant, caracteristica de selectivitate pentru tensiune (fig. 3.22) este asemănătoare variației modulului impedanței circuitului RLC derivație (fig. 3.19). La rezonanță, tensiunea la bornele acestui circuit are o valoare maximă.

Analog cu circuitul RLC serie, și în acest caz se poate defini o bandă (de trecere) la 3 dB ca diferența dintre frecvențele pentru care tensiunea scade la $1/\sqrt{2} = 0,707$ din valoarea sa maximă.

Între lărgimea de bandă B_{-3dB} , frecvența de rezonanță f_0 și factorul de calitate Q al circuitului există aceeași relație ca la circuitul serie ($B_{-3dB} = f_0 / Q$). Astfel, circuitul derivație va fi — ca și circuitul serie — cu atît mai selectiv cu cît factorul său de calitate Q are o valoare mai mare.

Se demonstrează că, la rezonanță, curenții prin cele două ramuri ale circuitului derivație sînt egali în modul și de Q ori mai mari decît curentul total absorbit. În consecință, la circuitul RLC derivație, apare o *rezonanță de curent* (spre deosebire de circuitul serie, cu *rezonanță de tensiune*).

Îndepărtîndu-ne de frecvența de rezonanță, circuitul RLC derivație are un comportament inductiv (la frecvențe mai joase) sau capacitiv (la frecvențe mai înalte) — deci invers ca la circuitul RLC serie. Dar la frecvența de rezonanță, ca și în cazul circuitului serie, impedanța echivalentă a circuitului RLC derivație este pur rezistivă.

Pentru realizarea unui transfer maxim de putere de la sursa de semnal (E_g sau I_g) către circuitul oscilant, este necesar să se realizeze adaptarea impedanței interne a generatorului (Z_g) la impedanța circuitului oscilant $Z(j\omega)$.

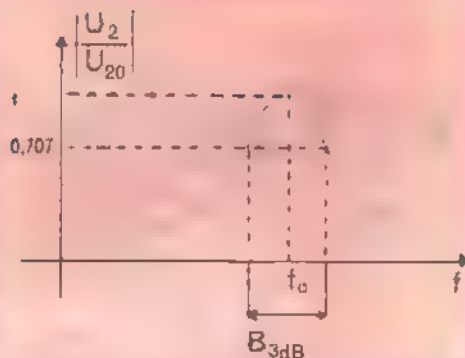


Fig. 3.22. Caracteristica de selectivitate a circuitului RLC derivație.

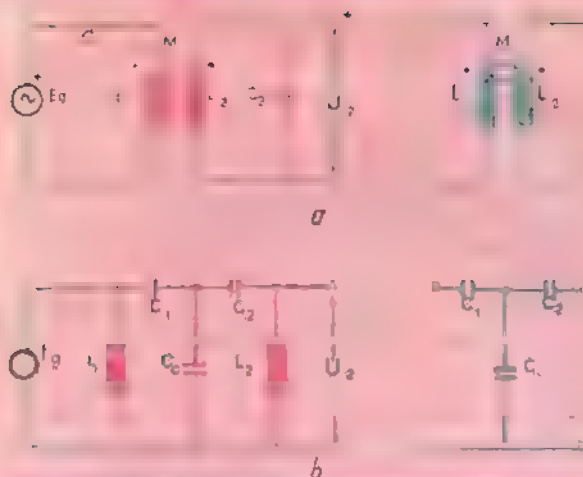


Fig. 3.26. Tipuri fundamentale de circuite oscilante cuplate.

Coeficientul de cuplaj este: $k = M / \sqrt{L_1 L_2}$

b) circuite RLC derivație cuplate (capacitiv) prin condensatorul serie C_c . Coeficientul de cuplaj este:

$$k = \sqrt{C_1 C_2} / \sqrt{(C_1 + C_c)(C_2 + C_c)}$$

De remarcat că un cuadripol de cuplaj este compus din elementul de cuplaj (M , respectiv C_c) și de elementele de același tip din primar și secundar (L_1, L_2 , respectiv C_1, C_2).

O altă configurație uzuală de circuite cuplate este cea din fig. 3.27. Cele două circuite RLC derivație sînt identice și cuplate prin condensatorul derivație C_c . Coeficientul de cuplaj este:

$$k = C_c / (C + C_c)$$

Principalele mărimi și relații care caracterizează funcționarea acestui circuit sînt:

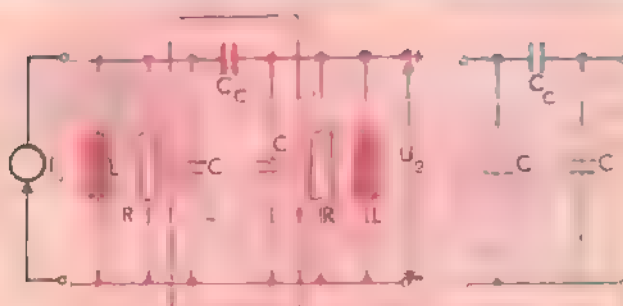


Fig. 3.27. Circuite RLC derivație identice, cuplate prin condensator derivație.

— factorul de calitate global (egal, în acest caz, cu factorii de calitate al primarului, Q_1 și al secundarului, Q_2):

$$Q = \sqrt{Q_1 Q_2} = Q_1 = Q_2$$

— indicele de cuplaj $g = kQ$ (pentru abateri mici în jurul frecvenței de rezonanță);

— variația tensiunii de ieșire (U_2) raportată la tensiunea de ieșire pentru transfer maxim de putere (U_{2MM} — tensiune „maxim-maximorum”), în funcție de variabila normată (v. fig. 3.19) $x = X_s/R_s = \beta Q$ și de indicele de cuplaj g :

$$U_2/U_{2MM} = 2gj / (1 - x^2 + g^2 + 2xj)$$

— frecvența de lucru (egală, în acest caz, cu frecvențele de acord ale primarului, f_{01} , respectiv secundarului, f_{02})

$$f_0 = f_{01} = f_{02} = 1 / 2\pi \sqrt{L(C + C_c)}$$

— raportul U_2/U_{2MM} la frecvența de lucru (centrală):

$$U_{20}/U_{2MM} = 2gj / (1 + g^2)$$

— banda la 3 dB, pentru $g = 1$ (cuplaj critic)

$$B_{3dB} = f_0 \sqrt{2(g^2 + 1)} / Q$$

— banda în sens Cebîșev, pentru $g > 1$ (cuplaj supracritic)

$$B_c = f_0 \sqrt{2(g^2 + 1)} / Q$$

— deviația de frecvență (la care se obțin cele două maxime ale caracteristicii de selectivitate — v. fig. 3.28), pentru $g > 1$ (cuplaj supracritic),

$$\Delta f_M = \pm f_0 \sqrt{g^2 - 1} / Q$$

Reprezentînd, pentru circuitele cuplate din fig. 3.27, variația raportului $|U_2/U_{2MM}|$ în funcție de deviația de frecvență Δf (unde $\Delta f = f - f_{0k}$, pentru $k = 1, 2, 3$; f_{0k} = frecvența de lucru pentru fiecare curbă) se obțin caracteristicile de selectivitate din fig. 3.28.

Prin adoptarea unui asemenea mod de reprezentare, caracteristicile rezultate sînt axate, deși frecvențele de lucru f_0 sînt diferite în fiecare caz (întrucît depind de valoarea capacității condensatorului de cuplaj C_c). Normarea tensiunii de ieșire s-a efectuat pentru cazul transferului maxim de putere (U_{2MM} obținut pentru $g > 1$). Caracteristicile sînt reprezentate pentru:

1) $g < 1$ (cuplaj subcritic). Există un singur maxim (la frecvența f_{01}) și nu se poate realiza transferul maxim de putere.

2) $g = 1$ (cuplaj critic). Caracteristica prezintă un maxim plat (la frecvența f_{02}); dacă, în plus, și $Q_1 = Q_2$, se obține un transfer maxim de putere într-o bandă de frecvențe relativ largă, în jurul valorii f_{02} .

3) $g > 1$ (cuplaj supracritic). Caracteristica are două maxime și un minim — corespunzînd celor trei valori reale și distincte ale frecvenței de lucru posibile. Dintre acestea, minimul corespunde frecvenței centrale f_{03} , iar maximele sînt simetric repartizate (față de f_{03}).

Se demonstrează că, dacă și $Q_1 = Q_2$, se poate obține un transfer maxim de putere la frecvențele de maxim (corespunzînd deviației $\pm \Delta f_M$ — v. fig. 3.28).

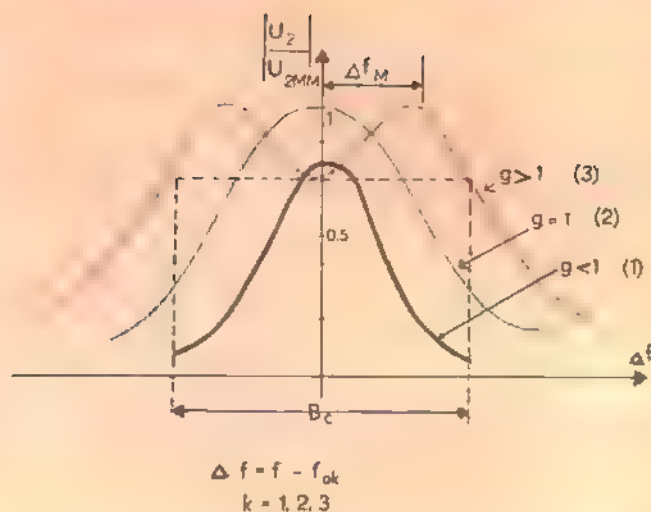


Fig. 3.28. Caracteristici de selectivitate ale circuitelor cuplate din fig. 3.27.

În primele două cazuri (un singur maxim), banda de trecere a circuitelor cuplate se definește ca diferența frecvențelor f_s și f_l pentru care raportul $|U_2/U_{2MM}|$ scade cu 3 dB față de valoarea sa maximă. Se demonstrează ca, la cuplaj critic ($g=1$), B_{3dB} ($=f_0\sqrt{2}/Q$) este de $\sqrt{2}$ ori mai largă decît banda de trecere a unui circuit oscilant simplu ($B_{3dB} = f_0/Q$).

În cazul curbei cu două maxime și un minim ($g>1$), banda de trecere se definește „în sens Cebîșev”, ca fiind diferența dintre frecvențele la care raportul $|U_2/U_{2MM}|$ are valorile corespunzătoare minimului de la frecvența centrală f_{00} . În această situație, banda de trecere este de $\sqrt{2(g^2+1)}$ ori mai largă decît în cazul circuitelor oscilante simple.

Dacă circuitele cuplate avînd schema din fig. 3.27 sînt neidentice, caracteristicile de selectivitate ale acestora pot avea aspectul celor din fig. 3.29. Există două cazuri fundamentale:

- 1) $Q_1 = Q_2$; $f_{10} \neq f_{20}$ — cînd cele două maxime sînt inegale
- 2) $Q_1 \neq Q_2$; $f_{10} = f_{20}$ — pentru care, la $g>1$, nu se mai poate obține $U_2 = U_{2MM}$

Circuitele RLC cuplate sînt utilizate atît pentru a realiza cuplajul (în c.a.) între două etaje amplificatoare cît și, mai ales, pentru a selecta din mulțimea semnalelor de diferite frecvențe numai pe acelea care au frecvența inclusă în banda de trecere a circuitului respectiv (atenuînd substanțial semnalele ce au frecvența în exteriorul acestei benzi).

Un exemplu de utilizare a circuitelor RLC cuplate pentru cuplarea a două etaje amplificatoare de bandă îngustă este prezentat în fig. 3.30.

Circuitele RLC derivație L_1C_1 și L_2C_2 sînt cuplate prin condensatorul C_c (v. și fig. 3.27).

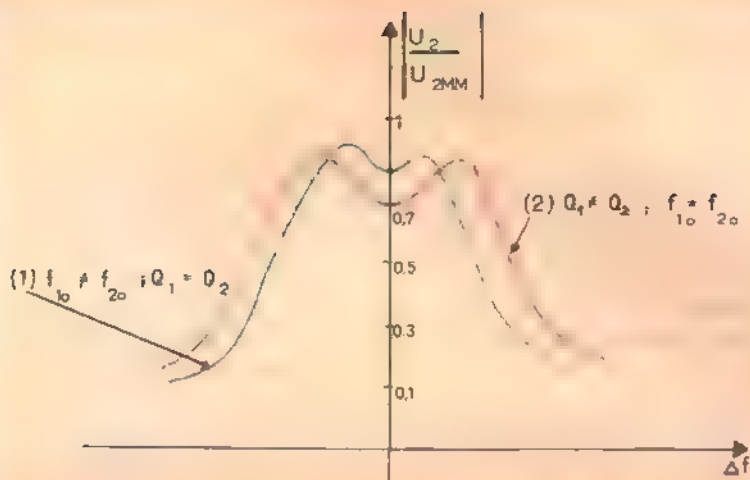


Fig. 3.29. Caracteristici de selectivitate ale unor circuite RLC cuplate, neidentice.

Schemele echivalente din fig. 3.30 evidențiază modul de determinare a condițiilor de adaptare. Utilizând — în mod curent — circuite identice ($L_1=L_2$, $C_1=C_2$, $R_1=R_2=R$), la cuplaj critic ($g=1$), rezultă următoarele condiții de adaptare, separate, pentru primar și secundar:

$$R'_0=R; \quad R=R'_{in}$$

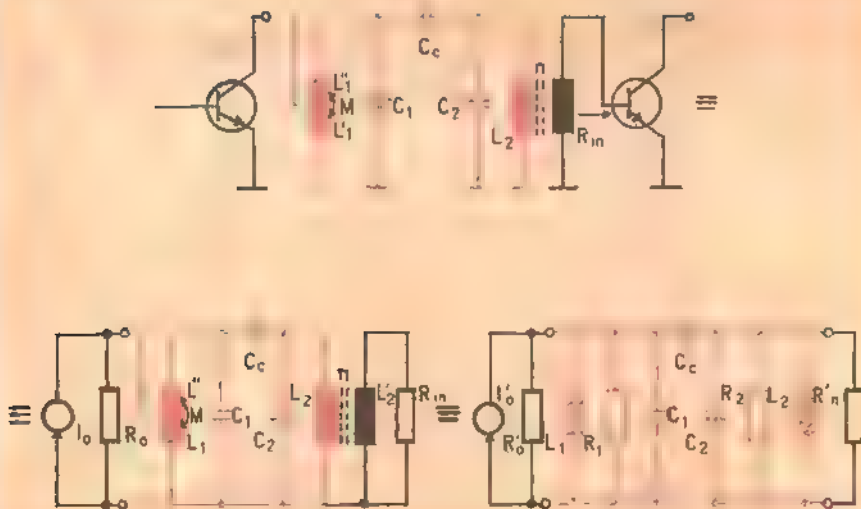


Fig. 3.30. Utilizarea circuitelor cuplate pentru cuplarea a două etaje de amplificare.

Este evident că banda frecvențelor ce se transmit între cele două etaje amplificatoare „de bandă îngustă” este strict determinată de caracteristicile de selectivitate ale circuitelor cuplate (v. fig. 3.27).

3.6.5. FILTRE ELECTRICE PASIVE

Filtrele (pasive) sînt circuite electrice formate din condensatoare, bobine și/sau rezistoare care — în funcție de structura lor și de valorile parametrilor acestor componente — realizează transferul energiei electrice (de la intrare spre ieșire) în mod selectiv, corespunzător frecvenței semnalelor transmise.

Un astfel de filtru are cel puțin o bandă de trecere (în care tensiunea de ieșire are o valoare importantă) și o bandă de oprire (pentru care tensiunea de ieșire este nulă sau foarte mică), separarea lor efectuîndu-se la frecvențele de tăiere.

Filtrele se pot clasifica în funcție de:

— poziția relativă a benzilor de trecere/oprire: filtre trece-jos (FTJ), filtre trece-sus (FTS), filtre trece-bandă (FTB), filtre oprește-bandă (FOB) etc.

— tipul componentelor lor (și principiul de funcționare): filtre R-C, filtre L-C, filtre piezo-electrice, filtre magnetostrictive etc.

— modul de interconectare a componentelor: în scară, în punte, diferențiale etc.;

— caracteristicile de atenuare: tip k , tip „derivat” (m , m_1-m_2 , $m-m'$) etc.

În general, filtrele sînt realizate sub forma unor cuadripoli simetrici constituiți — în mod ideal — din componente pur reactive (pentru evitarea pierderilor energetice).

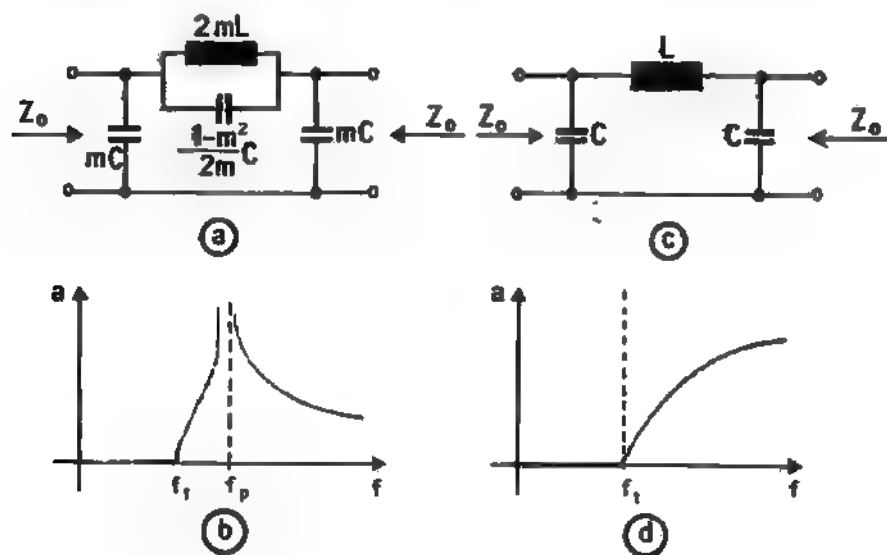


Fig. 3.31. Structuri de filtre trece-jos (FTJ) și variațiile atenuărilor — imagine corespunzătoare.

Astfel, de exemplu, un *filtru trece-jos* poate fi realizat ca în fig. 3.31 a (filtru tip „*m*-derivat”; cu $0 < m < 1$ și caracteristica atenuare-imagini în funcție de frecvență reprezentată în fig. 3.31 b) sau ca în fig. 3.31 c (filtru tip „*k*-constant”, rezultând din precedentul pentru $m=1$ și având caracteristica atenuare-imagini în funcție de frecvență reprezentată în fig. 3.31 d). Se observă că:

1) banda de trecere (cu $a=0$) și banda de oprire (cu $a>0$) sînt separate prin frecvența de tăiere f_t ;

2) delimitarea benzilor este insuficient de netă la filtrele tip *k* și mult mai evidentă la cele de tip „*m*-derivat”, prin introducerea unei atenuări foarte mari (teoretic infinită) la frecvența f_p (apropiată de frecvența de tăiere f_t). O asemenea situație se poate obține prin introducerea unui circuit oscilant derivație într-o ramură serie sau a unui circuit oscilant serie într-o ramură derivație a filtrului tip *k* (presupunind că elementele constitutive ale acestora sînt pur reactive, fără pierderi), realizîndu-se astfel filtrele tip „*m*-derivat”.

3) frecvențele de tăiere f_t ale celor două tipuri de FTJ sînt identice întrucît și impedanțele lor imagini Z_0 sînt (prin definiție) identice și variază în același mod în funcție de frecvență (v. fig. 3.32).

4) atenuarea-imagini a se definește pentru cazul în care celula de filtrare funcționează adaptată pe impedanțele-imagini Z_0 la ambele extremități (porți).

Filtrele trece-jos avînd schemele din fig. 3.31 a și 3.31 c au impedanța-imagini $Z_0=R+jX$ reprezentată în funcție de frecvența f conform fig. 3.32.

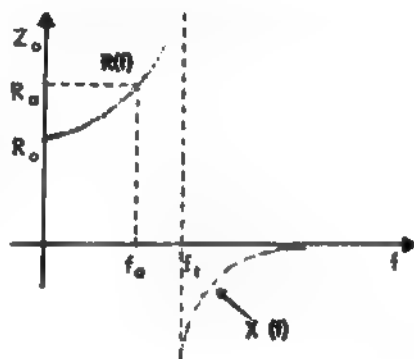


Fig. 3.32. Variația impedanței imagini $Z_0(f)=R(f)+jX(f)$ pentru FTJ din fig. 3.31.

Se observă că, pentru $f < f_t$ (în banda de trecere), $Z_0(f)=R(f) \rightarrow$ impedanța este reală, iar pentru $f > f_t$ (în banda de oprire), $Z_0(f)=jX(f) \rightarrow$ impedanța este imaginară.

Adaptarea impedanței-imagini la impedanța generatorului (sau la impedanța de sarcină a filtrului) se poate realiza — în banda de trecere — doar la o anumită frecvență $f=f_0$, pentru care $Z_0=R_0$. La $f=0$, impedanța-imagini (pur rezistivă, întrucît $f < f_t$), devine rezistența caracteristică R_0 .

Principalele mărimi și relații de calcul sînt:

- impedanța-imagini $Z_0(f)=Rf_t/\sqrt{f_t^2-f^2}$
- rezistența caracteristică $R_0=\sqrt{L/2C}$
- frecvența de tăiere $f_t=1/\pi\sqrt{2LC}$
- frecvența de atenuare infinită $f_p=f_t/\sqrt{1-m^2}$

Modificînd structura filtrului (celulei) trece-jos tip „*m*-derivat” fig. 3.31 a) ca în fig. 3.33, se obține o semicelulă („jumătate de secțiune”) de

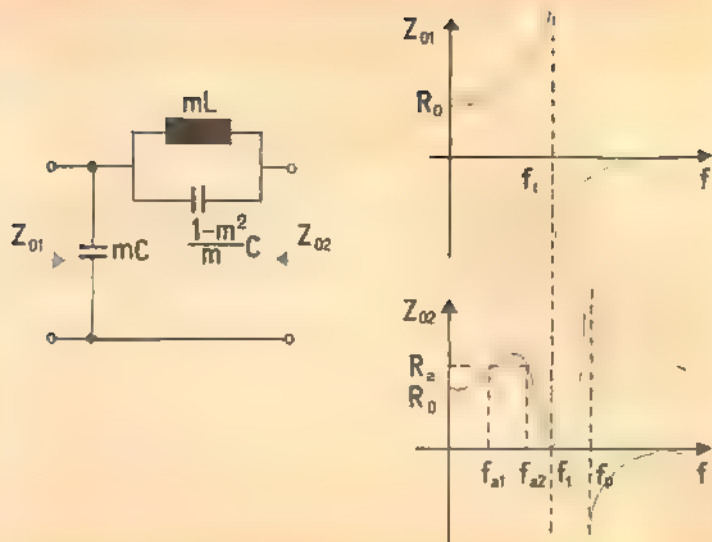


Fig. 3.33. Semicelulă de adaptare și variația impedanțelor-imaginale în funcție de frecvență.

adaptare, pentru care se definesc două impedanțe-imaginale, Z_{01} și Z_{02} (la cele două extremități/porți) având dependențe diferite de frecvența f .

Se observă că, dacă $Z_{01}(f)$ are aceeași alură cu $Z_0(f)$ (pentru filtrele tip „ m -derivat” și „ k -constant” — v. fig. 3.32), $Z_{02}(f)$ variază astfel încât apar două valori f_{a1} și f_{a2} pentru care se realizează adaptarea ($Z_{02}=R_0$).

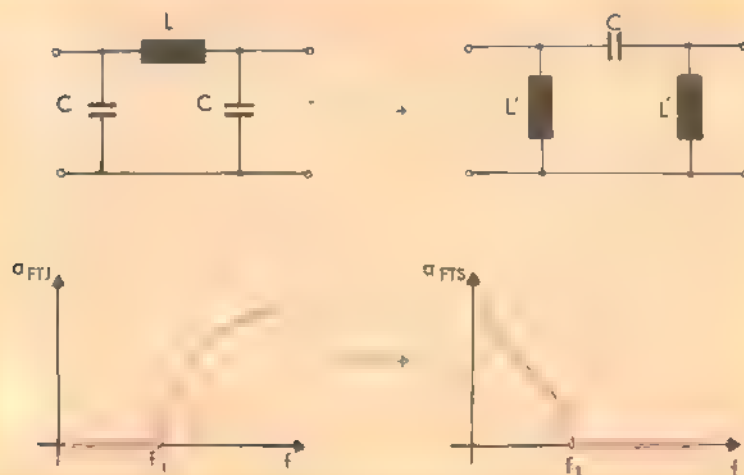


Fig. 3.34. Transformarea unei celule FTJ în celulă FTS (tip „ k -constant”).

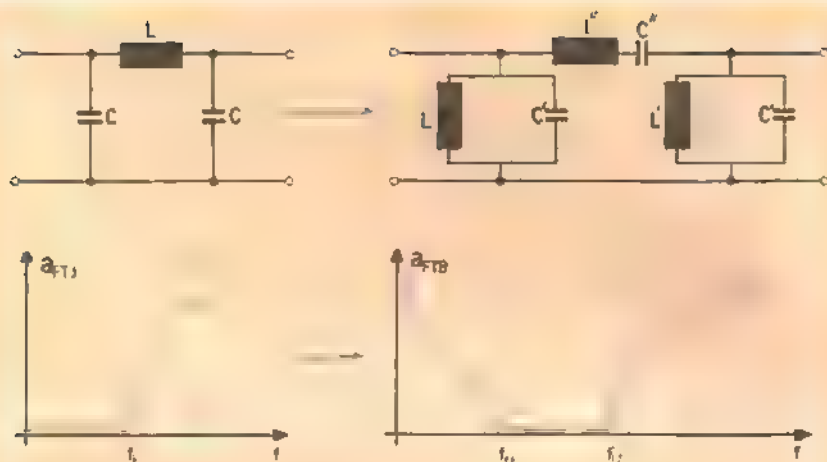


Fig. 3.35. Transformarea unei celule FTJ în celulă FTB (tip „ k constant”).

Celula de filtru trece-jos (FTJ) tip „ k -constant” din fig. 3.31 c se poate transforma într-o celulă de filtru trece-sus (FTS) — ca în fig. 3.34 sau într-o celulă de filtru trece-bandă (FTB) — ca în fig. 3.35.

În primul caz, transformarea se realizează fizic prin înlocuirea condensatoarelor cu bobine și a bobinei cu un condensator, iar matematic (în relațiile de calcul — inclusiv pentru $a(f)$), prin schimbarea variabilei $j\omega/\omega_c$ în $-j\omega_c/\omega$. Astfel, benzile de trecere și de oprire își intervertesc pozițiile, iar alura curbei $a(f)$ se modifică substanțial (v. fig. 3.34).

În al doilea caz, transformarea se realizează fizic prin înlocuirea condensatoarelor cu circuite LC derivație și a bobinei cu un circuit LC serie, iar matematic (în relațiile de calcul corespunzătoare), prin înlocuirea variabilei $j\omega/\omega_c$ cu $jK(f/f_0 - f_0/f)$, unde $f_0 = \sqrt{f_{01}f_{02}}$, iar $K = \text{constantă}$.

Banda de trecere a FTB astfel obținut este cuprinsă între f_{01} și f_{02} , benzile de oprire fiind situate în exteriorul acestui interval.

Evident că se pot realiza transformări similare atât pentru obținerea unei celule filtru oprește-bandă (FOB) tip „ k -constant” cât și în cazul filtrelor tip „ m -derivat” (pentru obținerea FTS, FTB, FOB dintr-un FTJ).

O altă categorie de filtre electrice o reprezintă *filtrele de netezire* (fig. 3.36).

Un astfel de filtru este întotdeauna prezent în circuitele de alimentare cu tensiune continuă (fig. 3.36 a) fiind conectat între redresor și sarcina acestuia (stabilizator de tensiune continuă, rezistență de sarcină etc.), în scopul reducerii substanțiale a pulsațiilor tensiunii redresate u_3 . (Se știe că orice tensiune redresată conține o componentă continuă peste care se suprapune o componentă alternativă/pulsatorie dăunătoare).

Raportul dintre valoarea maximă a componentei alternative (amplitudinea primei armonici, $U_{3\text{Max}}$) și componenta continuă U_{30} se numește factor de undulație (γ).

Se demonstrează că, în cazul redresării monoalternanță (fig. 3.36 b), $U_{30} = U_{3\text{Max}}/\pi$ ($\gamma = \pi/2 = 1,57$), iar în cazul redresării bialternanță (fig. 3.36 c), $U_{30} = 2U_{3\text{Max}}/\pi$, ($\gamma = 2/3 = 0,66$).

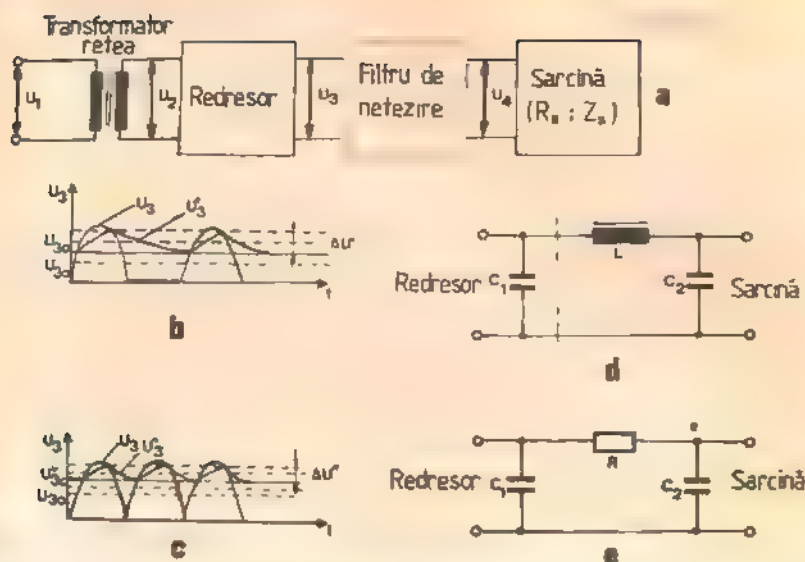


Fig. 3.36. Filtre de netezire tip LC și tip RC.

Dar necesitățile curente impun o netezire mult mai accentuată a tensiunii redresate (deci un factor de ondulație γ cât mai mic) pentru a obține o tensiune u_4 practic continuă. Filturul de netezire utilizat în acest scop trebuie să atenueze cât mai puțin componenta continuă și cât mai mult componenta alternativă a tensiunii redresate. Pentru a îndeplini această funcție, filtrul trebuie să conțină componente cu impedanță mare conectate în serie și elemente cu impedanță mică plasate în paralel.

Filtrele de netezire cel mai frecvent utilizate sînt formate din celule LC (fig. 3.36 d) sau din celule RC (fig. 3.36 e), conectate în paralel pe „condensatorul de netezire” C_1 (de ordinul zecilor ... sutelor de μF).

Pe durata impulsurilor de tensiune redresate, condensatorul C_1 se încarcă rapid (prin rezistența redusă de ieșire a redresorului), iar în intervalul de timp dintre două impulsuri, condensatorul C_1 se descarcă mai lent prin rezistența de sarcină (mai mare decît rezistența de încărcare). Tensiunea u_3 devine în acest caz u'_3 (respectiv u''_3) avînd componenta continuă U_{30} (respectiv U'_{30}) și componenta alternativă $\Delta U'$ (respectiv $\Delta U''$). Este evidentă reducerea substanțială a acestei ultime componente — valorile uzuale ale factorului de ondulație γ fiind, în acest caz, de ordinul 0,05 ... 0,1.

O reducere și mai accentuată a acestor ondulații se realizează cu ajutorul filtrelor de netezire compuse din celule LC sau RC. Acestea pot fi considerate și ca divizoare de tensiune avînd un factor de divizare apropiat de unitate — pentru componenta continuă a tensiunii redresate — și un factor de divizare mare — pentru componenta de curent alternativ (Componenta pulsatorie a tensiunii redresate fiind nesinusoidală — dar periodică — se poate descompune într-o sumă de sinusoidale — „armonicile”. În consecință, valoarea eficientă a acestei componente este determinată de suma valorilor

eficace ale fiecărei armonici în parte. Dar, întrucît aceste valori eficace scad rapid cu ordinul armonicii, în calcule se poate lua în considerare doar prima armonică).

Filtrul LC (fig. 3.36 d) poate asigura o bună filtrare fără pierderi importante de tensiune continuă. Funcționarea sa se explică prin acumularea de energie în câmpul magnetic al bobinei și cedarea acesteia în sarcină (între două impulsuri ale tensiunii redresate). Bobina L reprezintă o reactanță mare pentru componenta alternativă a u , astfel încît prin ea va trece doar un curent alternativ de intensitate foarte mică. Condensatorul C_2 — avînd o reactanță foarte redusă (comparativ cu rezistența de sarcină) — va prelua aproape integral acest curent alternativ, astfel încît pe rezistența de sarcină apar componenta continuă a u și o foarte mică parte din componenta alternativă a acesteia.

Se observă că, întrucît reactanța bobinei ($X_L = \omega_p L$) este proporțională cu frecvența unghiulară a pulsațiilor ω_p , filtrul LC este cu atât mai eficient cu cît această frecvență este mai ridicată. În consecință, filtrele de acest tip nu se utilizează decît în cazul redresoarelor bialternanță.

Se definește coeficientul de filtraj μ ca fiind raportul tensiunilor pulsatorii de la intrarea și de la ieșirea filtrului (ΔU_3 , respectiv ΔU_4).

Cunoscînd frecvența unghiulară a pulsațiilor (ω_p) și rezistența de sarcină (R_N) și impunînd coeficientul μ , se pot calcula valorile inductanței L și condensatorului C_2 cu relațiile:

$$1/\omega_p C_2 \ll R \quad ; \quad LC_2 = (\mu + 1)/\omega_p^2$$

În general, bobinele din filtrele de netezire tip LC au cîteva mii de spire și inductanțe $L = 1 \dots 10$ H. Condensatoarele din filtrele LC sau RC sînt de regulă electrolitice, avînd capacitatea de ordinul zecilor ... sutelor de μF și o tensiune de lucru mai mare cu 20 ... 50% decît valoarea tensiunii redresate (U_{20}).

Filtrul RC (fig. 3.36 e) — este mai ieftin decît filtrul LC, întrucît rezistorul R are alt un preț de cost cît și un volum mult mai mic, comparativ cu bobina de filtraj L . În schimb, apare dezavantajul unor căderi de tensiune importante pe rezistor; în consecință, nu se pot utiliza rezistoare de valori prea mari, ceea ce implică obținerea unor efecte de filtraj mai reduse. Totuși, datorită avantajelor sale, filtrul RC este utilizat aproape exclusiv atunci cînd curentul de sarcină nu depășește 50 mA.

Impunînd căderea de tensiune maximă (U_{RMax}) pe rezistorul R , se poate determina valoarea rezistenței acesuia cu ajutorul relației $U_{RMax} = RI_{SMax}$ (I_{SMax} = curent maxim de sarcină). Cunoscînd frecvența unghiulară a pulsațiilor ω_p și impunînd coeficientul de filtraj μ , se poate calcula capacitatea condensatorului C_2 cu relația:

$$C_2 R = \mu / \omega_p$$

De remarcat că filtrele de netezire prezentate nu asigură eliminarea completă a componentei alternative — ci doar o reducere a acesteia. Efecte de filtraj și mai accentuate se pot obține prin conectarea în cascadă a mai multor celule tip LC și/sau RC, dar și prin utilizarea unor filtre de netezire cu elemente active.

CABLAJE IMPRIMATE

4.1. GENERALITĂȚI

Utilizarea cablajelor (circuitelor) imprimate constituie actualmente soluția constructivă cea mai performantă și mai răspândită de interconectare a componentelor în circuite electrice/electronice din montaje, aparate și echipamente electronice. Folosite pentru prima dată în 1945 (în aparatură militară), cablajele imprimate au înlocuit, treptat și pretutindeni, vechile cablaje „spațiale”, filare (convenționale), introducând modificări importante în construcția și tehnologia echipamentelor electronice atât profesionale cât și de larg consum.

Principalele avantaje ale cablajelor imprimate sînt:

- realizează o mare densitate de montare a componentelor, permițînd reducerea volumului și greutateii (deci miniaturizarea) aparatelor electronice;

- asigură poziționarea precisă și fixă a componentelor și a interconexiunilor acestora în circuite — permițînd creșterea fiabilității în funcționare și reducerea/compensarea cuplajelor parazite dintre componente și/sau circuite;

- asigură o rezistență superioară a echipamentelor electronice (din care fac parte) la solicitări mecanice, termice și climatice, îmbunătățînd totodată considerabil mentenabilitatea acestora;

- simplifică și reduce durata operațiilor de montaj, facilitînd automatizarea acestora, reducînd posibilitățile de montare eronată și asigurînd un înalt grad de reproductibilitate;

- fac posibilă unificarea și standardizarea constructivă a subansamblurilor (blocurilor, modulelor) funcționale din structura aparatelor/echipamentelor electronice, permițînd interconectarea simplă, rapidă, precisă și fiabilă a acestora.

Există totuși și unele dezavantaje, minore, ale cablajelor imprimate:

- orice modificări ulterioare ale circuitelor (și, uneori, chiar ale componentelor) sînt relativ dificil de efectuat;

- majoritatea tipurilor de cablaje imprimate sînt sensibile la șoc termic — ceea ce impune unele precauții la lipirea terminalelor componentelor.

4.2. STRUCTURA ȘI CLASIFICAREA CABLAJELOR IMPRIMATE

Un cablaj imprimat este un sistem de conductoare plate (imprimare) amplasate în unul, două sau mai multe plane paralele și fixate (cu adeziv) pe suprafața unui suport electroizolant (dielectric) care asigură și susținerea mecanică a componentelor.

a) Suportul electroizolant al circuitelor imprimate este realizat din materiale având proprietăți fizico-chimice, electrice, mecanice și termice adecvate.

Există mai multe categorii de asemenea materiale, dar cele mai frecvent utilizate în prezent pentru cablaje rigide sînt (fig. 4.1):



Fig. 4.1. Principalele materiale electroizolante utilizate ca suport al circuitelor imprimate.

— PERTINAXUL (temperatura maximă de lucru 105°C) — pe bază de textură din hîrtie impregnată cu rășini fenolice — ce constituie materialul standard pentru solicitări normale în cele mai diverse aplicații.

— STECLOTOLITUL (temperatură maximă de lucru: 150°C) — pe bază de textură din fibre de sticlă impregnată cu rășini epoxidice — larg utilizat în aparatura electronică profesională întrucît permite obținerea unor performanțe superioare.

În ultimul timp, pentru realizarea cablajelor profesionale sînt utilizate și suporturi ceramice (anorganice) avînd proprietăți termice excelente, dar rezistență mecanică (la șocuri) redusă.

Circuitele imprimate flexibile utilizează drept suport materiale termoplastice ca: ACLAR (max. 200°C), TEFLON (max. 274°C), KAPTON (max. 400°C).

b) Traseele conductoare (cablajul imprimat propriu-zis) se realizează din materiale avînd proprietăți adecvate: rezistivitate electrică redusă, bună sudabilitate, rezistență mare la coroziune. În general, cel mai frecvent utilizat material este cuprul electrolitic de înaltă puritate — formînd o folie (de grosimi normalizate uzuale: 35 μm sau 70 μm) aplicată pe suprafața suportului electroizolant (împreună cu care formează semifabricatul „placat” din care, prin operații tehnologice specifice, se obțin cablajele imprimate avînd diferite structuri, configurații, dimensiuni etc.)

În unele aplicații profesionale se pot utiliza și aurul, argintul sau nichelul. În scopul facilitării lipirii terminalelor componentelor (pe aceste trasee conductoare) ca și pentru asigurarea unor contacte electrice fiabile (în cazul utilizării unor conectoare special construite pentru cablaje imprimate, folia de cupru se acoperă — uneori — cu o peliculă de cositor (prin „precositorire”), de aur sau de argint.

c) Adezivii utilizați pentru fixarea foliei de cupru pe suportul electroizolant de tip PERTINAX — de regulă, rășini speciale — trebuie să reziste la temperatura de lipire și să fie suficient de elastici (pentru a prelua — la lipire — diferențele de dilatare dintre suport și folie).

Materialele electroizolante de tip STECLOTEXTOLIT nu necesită adeziwi.

Semifabricatele placate cu cupru se produc la diferite dimensiuni — mai frecvente fiind: 900 \times 900 mm sau 900 \times 1 800 mm. Din acestea se debitează plăcile cu viitoarele cablaje imprimate ale căror dimensiuni nu trebuie să depășească 240 \times 360 mm — pentru cablaje simplu/dublu strat și 200 \times 240 mm — pentru cablaje multistrat, astfel încît procesul tehnologic de realizare a acestora să nu devină prea dificil [14].

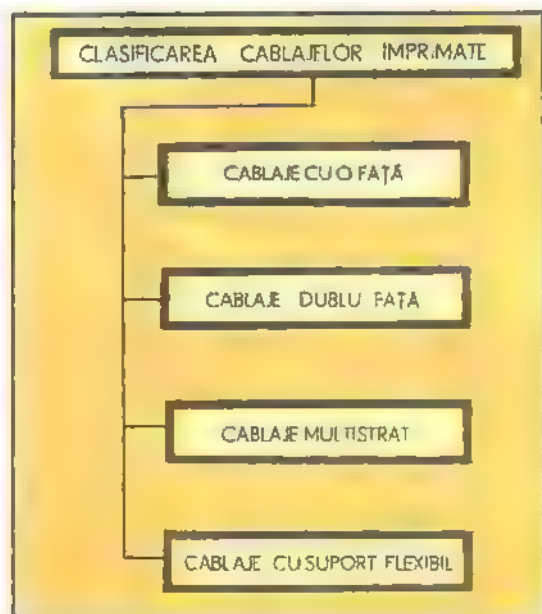


Fig. 4.2. Clasificarea cablajelor imprimate

În fig. 4.2 se prezintă o clasificare a cablajelor imprimate după numărul planelor în care sînt amplasate traseele conductoare precum și după caracteristicile mecanice ale suportului izolant:

a) cablajele cu o față („cablaje simplu strat” sau cablaje monostrat”) — sînt cele mai vechi și mai frecvent utilizate cablaje imprimate, fiind destinate — în special — aparaturii electronice de larg consum. Au cel mai simplu proces tehnologic de fabricație și cele mai reduse costuri de producție, dar nu permit obținerea unor mari densități de montaj, motiv

pentru care ponderea lor — pe ansamblul producției de cablaje imprimate — este în scădere;

b) cablajele *dublu față* („cablaje dublu strat”) — sînt actualmente cele mai utilizate în construcția aparatelor și echipamentelor electronice profesionale întrucît asigură o densitate ridicată de montaj, la un preț de cost relativ scăzut. Procesul tehnologic de realizare este însă mai complex, implicînd — în unele cazuri — și metalizarea găurilor în care se implantează terminalele componentelor.

c) cablajele *multistrat* — sînt destinate exclusiv echipamentelor electronice profesionale întrucît asigură o densitate de montaj și proprietăți electrice superioare tuturor celorlalte tipuri (permițînd interconectarea mai simplă a numeroase circuite integrate tip LSI sau VLSI). Dar procesul lor tehnologic de realizare este complex și costisitor întrucît metalizarea găurilor este mult mai dificilă (v. § 4.6).

d) cablajele *cu suport flexibil* — au tendința de-a înlocui, în ultimul timp, atît cablajele imprimate rigide — prezentate mai sus — cît și „forme de cablu” (compuse din diferite tipuri de conductoare) care interconectează subansamblele echipamentelor electronice.

Cablajele imprimate flexibile au numeroase avantaje:

— sînt mai ușoare și mai puțin voluminoase decît cele rigide (fiind destinate în principal echipamentelor la care greutatea și volumul sînt esențiale — de ex. aparatele electronice aerospațiale, calculatoarele electronice etc;

— permit realizarea unor mari densități de montaj și obținerea unei fiabilități superioare în exploatare, reducînd mult — sau chiar eliminînd — posibilitatea cuplajelor parazite între circuite;

— formează un sistem de interconectare tridimensională întrucît nu numai că pot fi — eventual — îndoite, răsucite și deplasate, dar pot avea orice geometrie (spre diferență de cablajele rigide — avînd, de regulă, formă dreptunghiulară).

Dar lipirea componentelor pe astfel de cablaje este, de obicei mai avantajoasă dacă se efectuează manual (deci cu o productivitate relativ scăzută) și nu automat.

4.3. METODE ȘI TEHNOLOGII DE REALIZARE A CABLAJELOR IMPRIMATE

Pentru realizarea cablajelor imprimate — cu mijloace industriale sau artizanale — se pot utiliza peste 30 metode (tehnologii) diferite ce pot fi, totuși, grupate în două mari categorii, principal opuse (fig. 4.3):

a) metodele *subtractive* („de corodare”) — implicînd prelucrarea unui semifabricat placat cu cupru și obținerea traseelor circuitului imprimat prin înlăturarea unor porțiuni din folia electroconductoare aderentă la suportul electroizolant. Îndepărtarea acestor zone se poate face fie pe cale chimică (prin corodare) — avînd în prezent cea mai mare pondere pe ansamblul cablajelor imprimate — fie pe cale mecanică, prin segmentarea și eliminarea foliei.

b) metodele *aditive* („de depunere”) — impunînd metalizarea unui semifabricat din material electroizolant neplacat. Din această categorie fac

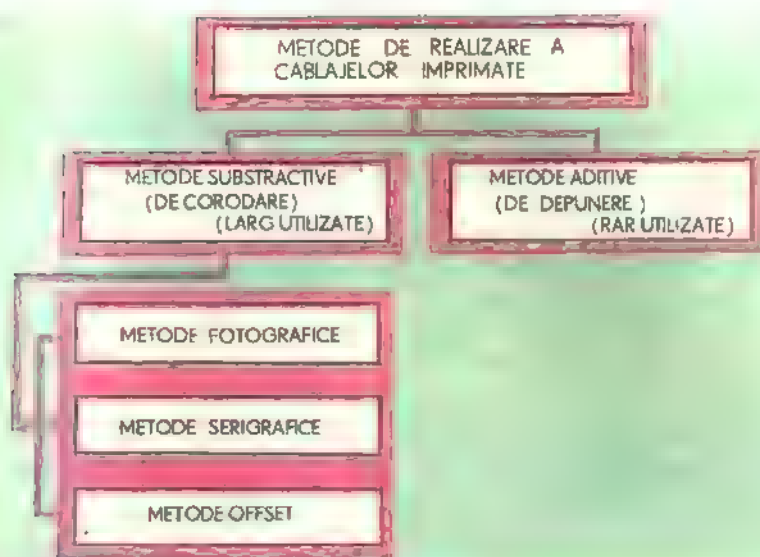


Fig. 4.3. Metode (tehnologii) de realizare a cablajelor imprimate.

parte; metoda electrochimică, metoda transferului, metoda arderii în cuptor, metoda pulverizării catodice și termice etc.

Actualmente predomină metodele substructive, dar a apărut și o tendință de extindere a metodelor de depunere — avînd în vedere necesitatea reducerii consumului de cupru.

Există și o a treia categorie de metode (mai rar utilizate) — „metodele combinate” — la care se folosesc tehnologii specifice atât metodelor substructive cît și celor aditive.

Aproape în toate cazurile este necesară transpunerea configurației circuitului de realizat de pe un desen pe semifabricatul de prelucrat. Această operație se realizează industrial — cu metode fotografice, serigrafice sau offset, iar artizanal — prin desenare manuală sau vopsire cu șablon și pensulă (sau pulverizator).

4.4. REALIZAREA CABLAJELOR IMPRIMATE MONOSTRAT PRIN METODE DE CORODARE

În prezent, în țara noastră, cablajele imprimate se realizează aproape exclusiv prin metode de corodare, transpunerea desenului pe folia din cupru realizîndu-se fie prin fotografiere, fie prin serografiere.

Orice proces tehnologic de realizare a cablajelor imprimate prin metode de corodare comportă următoarele etape principale (fig. 4.4):

1) realizarea desenului de cablaj (la o scară mărită, între 2:1 — pentru cablajele normale, și 4:1 — pentru cablajele de mare linie) pe hîrtie specială, conform principiilor de proiectare a cablajelor imprimate (v. § 4.5). Traseele conductoarelor imprimate se desenează cu tuș negru (sau se realizează din elemente adezive, special concepute), obținîndu-se astfel originalul desenului cablajului imprimat („fotooriginalul”).

2) realizarea filmului fotografic („fotosa-
blonului” sau „măștii”) prin fo-
tografierea fotooriginalu-
lui pe film de mare contrast
și cu reducere corespunză-
toare a formatului (la
scara desenului), astfel în-
cît negativul foto obținut
să rezulte în mărime natu-
rală.

3) transpunerea (im-
primarea) imaginii cabla-
jului de pe filmul fotografic
pe suportul placat cu cupru
— fie prin metoda foto-
grafică, fie prin metoda
serigrafică.

4) efectuarea unor
prelucrări mecanice ade-
vate (după realizarea co-
rodării): găurire, tăiere
(decupare), debavurare
etc. urmate de realizarea
unei acoperiri de protecție
(lăcuire).

4.4.1. METODA FOTOGRAFICĂ

În cazul transpunerii
imaginii cablajului imprimat
de pe film (fotosa-
blon) pe semifabricatul
placat prin metoda foto-
grafică, principalele etape
ale procesului tehnologic
respectiv sînt prezentate în
fig. 4.5.

Această metodă per-
mite obținerea unor rezolu-
ții și precizii maxime —
decît a unor trasee fine de
cablaj — dar are dezavan-
taful productivității scăzu-
te și este costisitoare. În
consecință, se utilizează cu
precădere în producția de
serie mică și de unicate.

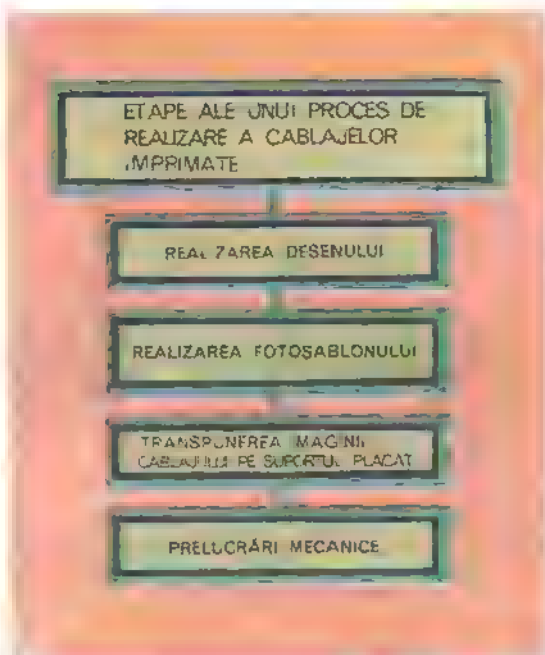


Fig. 4.4. Etapele de bază ale unui proces tehnologic de realizare a cablajelor imprimate.

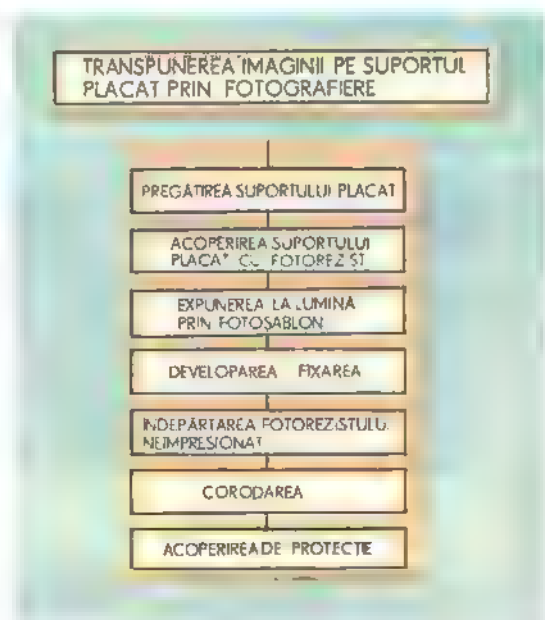


Fig. 4.5. Transpunerea imaginii pe semifabricatul placat, prin fotografiere.

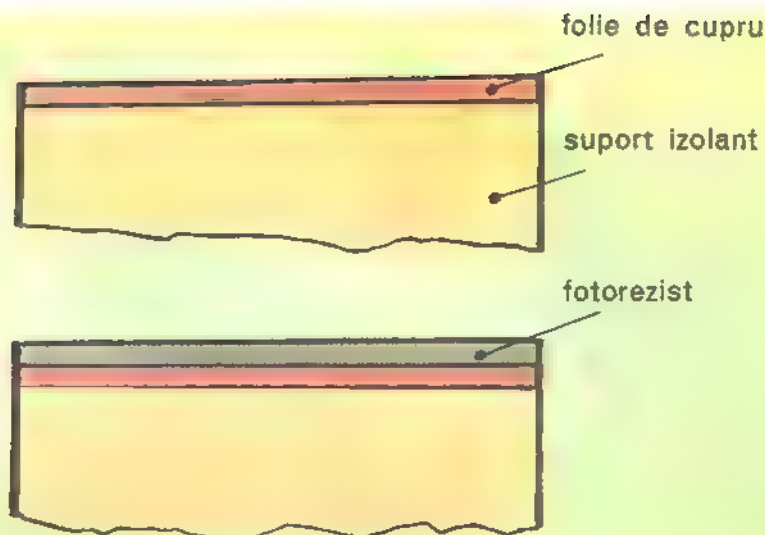


Fig. 4.6. Pregătirea și acoperirea foliei de cupru a semifabricatului placat.

Rolul acestor etape în transformarea semifabricatului placat reiese din fig. 4.6.—4.8.

Într-o primă fază (fig. 4.6) — conform primelor două etape prezentate în fig. 4.5. — după o spălare și o degresare prealabilă a foliei de cupru, aceasta se acoperă cu un strat fotosensibil de FOTOREZIST.

În faza următoare (fig. 4.7), se expune stratul de fotorezist la lumină prin intermediul fotoșablonului (realizat anterior, ca mai sus) transferându-se astfel configurația circuitului imprimat de realizat pe folia de cupru.

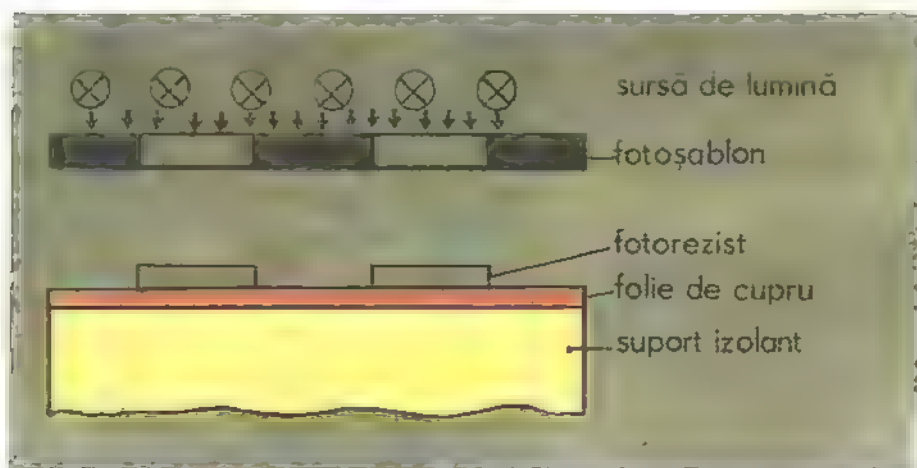


Fig. 4.7. Prelucrarea stratului de fotorezist negativ (prin expunere, dezvoltare-fixare și îndepărtarea zonelor neexpuse luminii).

După dezvoltare și fixare fotografică, anumite zone din fotorezist devin insolubile, iar celelalte pot fi dizolvate și îndepărtate cu ajutorul unui solvent special. Astfel, la fotorezistul negativ, porțiunile expuse la lumină polimerizează și devin insolubile, spre deosebire de fotorezistul pozitiv la care zonele neexpuse luminii devin insolubile.

Se obține astfel — în primul caz (fig. 4.7) — o acoperire a foliei de cupru cu fotorezist, doar în zonele corespunzătoare porțiunilor transparente ale fotoșablonului. Stratul rămas se fixează pentru a-i mări rezistența la reactivul de corodare.

Urmează — conform ultimelor două etape prezentate în fig. 4.5 — faza de prelucrare a foliei de cupru (fig. 4.8). Cea mai importantă etapă constă

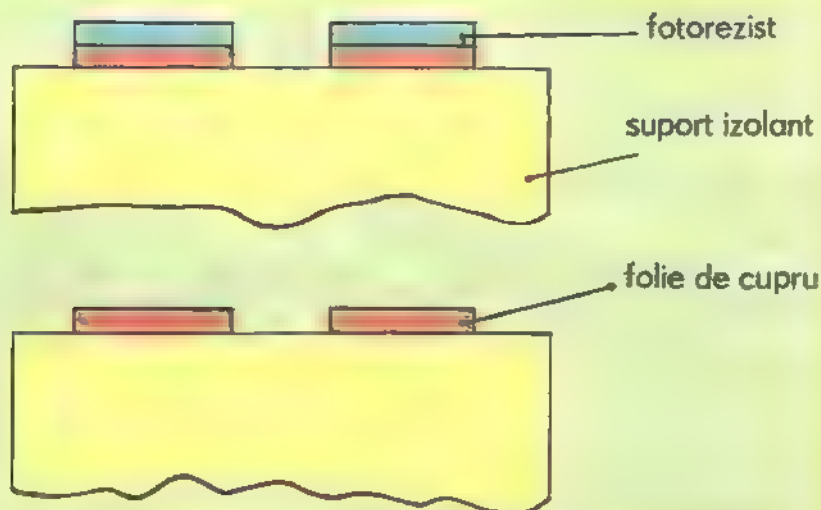


Fig. 4.8. Prelucrarea foliei de cupru prin corodare.

în corodare (specifică metodelor substructive), implicând imersarea semifabricatului placat într-o cuvă (de dimensiuni adecvate) cu clorură ferică. Au loc reacții chimice determinând corodarea și îndepărtarea foliei de cupru numai în zonele neacoperite cu stratul protector de fotorezist (fig. 4.8) corespunzând, în cazul fotorezistului negativ, zonelor neexpuse la lumină (deci porțiunilor opace ale fotoșablonului). Corodarea poate dura până la câteva zeci de minute și se consideră încheiată atunci când în zonele neacoperite de fotorezist apare suportul electroizolant al semifabricatului.

După corodare se realizează succesiv:

- îndepărtarea stratului protector de fotorezist (depus pe traseele circuitului imprimat);
- debitarea/decuparea plăcii la dimensiunile finale;
- efectuarea găurilor necesare montării componentelor pe placă și a plăcii în aparat/echipament;
- debavurarea muchiilor plăcii și a găurilor;
- curățarea (cu apă caldă și spirt);

— lacuirea — în scopul asigurării protecției anticorozive și al facilitării efectuării lipirilor cu cositor.

Se obține astfel un produs finit — placa cu cablaj imprimat (sau cu „circuite imprimate”) — pe care urmează să se monteze (prin implantare și lipire) toate componentele pasive și active prevăzute.

4.4.2. METODA SERIGRAFICĂ

Transpunerea imaginii cablajului imprimat de pe filmul fotografic (fotoșablon) pe semifabricatul placat se poate efectua și prin metoda serigrafică („serigrafie”). Deși aceasta metodă realizează unii parametri calitativi inferiori celor obținuți prin metoda fotografică (rezoluție: 1,5 mm în loc de 0,5 mm; precizie: $\pm 0,3$ mm în loc de $\pm 0,15$ mm), ea este larg utilizată în producția industrială de mare serie a cablajelor imprimate întrucât asigură obținerea unei productivități maxime și a unui preț de cost mai redus, permițând totodată automatizarea totală a procesului tehnologic respectiv.

Principalele etape ale metodei serigrafice sunt indicate în fig. 4.9.

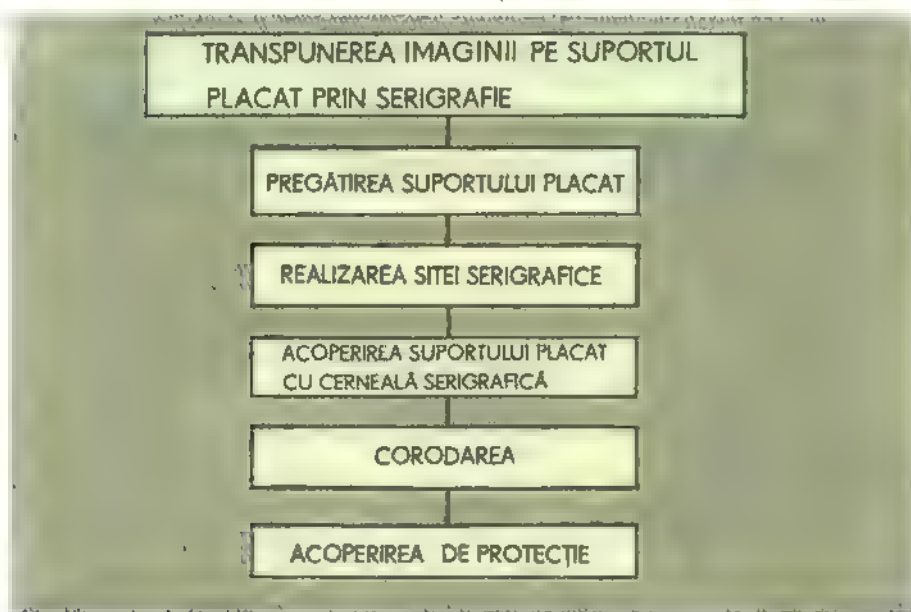


Fig. 4.9. Transpunerea imaginii pe semifabricatul placat, prin serigrafie.

În acest caz, configurația cablajului imprimat de realizat este protejată contra corodării prin aplicarea unui strat de vopsea/cerneală serigrafică specială, cu ajutorul unei „site serigrafice” specifice.

Această sită (sau „șablon”) este de regulă o „pânză” cu ochiuri foarte fine și bine întinsă pe o ramă dreptunghiulară având dimensiunile mai mari decât cele ale plăcii cu cablaj imprimat. Realizarea sitei serigrafice implică obturarea anumitor ochiuri în scopul transpunerii imaginii alb/negru de pe filmul fotografic într-o imagine cu ochiuri obturate, respectiv libere, pe sită. În acest scop, pe sita nouă (având toate ochiurile libere) se aplică

mai întâi un strat fotosensibil din FOTOREZIST care este expus la lumină prin intermediul fotoșablonului pozitiv (conținând configurația cablajului imprimat). În ochiurile iluminate, fotorezistul polimerizează și se întărește (fixându-se pe sită și obturându-și ochiurile), în timp ce în zonele neiluminate fotorezistul poate fi îndepărtat (prin spălare cu apă caldă) permițând reapariția ochiurilor libere. Astfel, sita devine un „negativ” conținând imaginea cablajului imprimat.

În etapa următoare, se transpune (imprimă) această imagine pe folia de cupru a semifabricatului placat.

Pentru aceasta, se pune sita în contact direct cu folia, iar pe cealaltă față a sitei se aplică vopsea/cerneală serigrafică prin întindere — pe întreaga suprafață a sitei — cu ajutorul unei raclete (șpaclu) speciale (fig. 4.10). Translatând această racletă, cerneala serigrafică va pătrunde prin ochiurile rămase libere ale sitei, imprimându-se pe folia de cupru — zona ochiurilor obturate rămânând neacoperită cu cerneală.

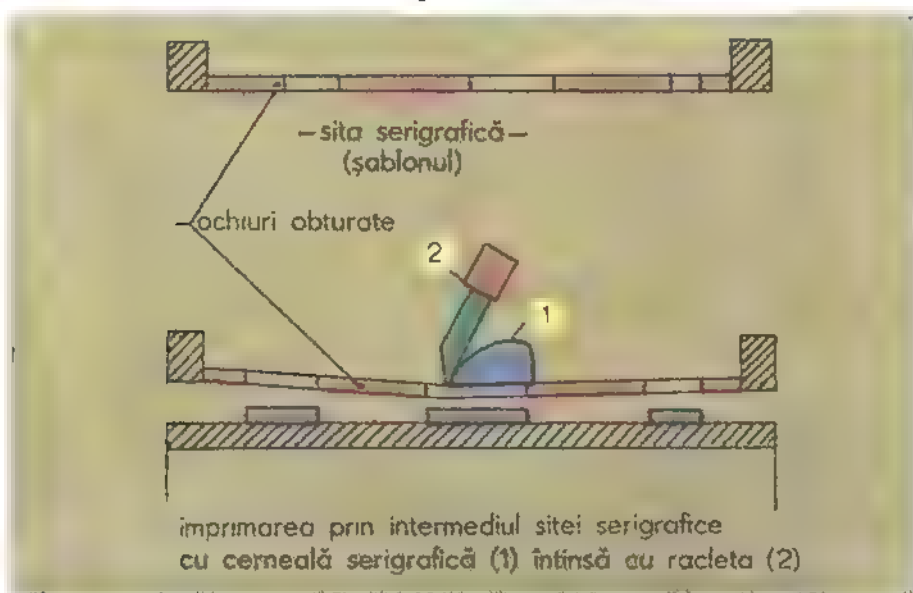


Fig. 4.10. Principiul imprimării serigrafice

Astfel se obține pe folia de cupru o imagine „pozitivă” și în relief a cablajului imprimat, realizată cu ajutorul vopselei/cernelei serigrafice. După uscarea acesteia, se realizează corodarea și celelalte operații indicate la metoda fotografică (§ 4.4.1).

În producția de serie — conform metodei serigrafice — a cablajelor imprimate, se utilizează mașini specializate — manuale, semiautomate sau automate.

4.5. REALIZAREA FOTOORIGINALULUI

Configurația cablajului imprimat de realizat este transpusă pe folia de cupru a semifabricatului — printr-una din metodele mai sus indicate — pe-



Fig. 4.11. Moduri de realizare a fotooriginalului.

Plecând de la schema de principiu și parametrii electrici ai blocului funcțional pentru care trebuie proiectat cablajul imprimat, se realizează:

- poziționarea componentelor — în funcție de tipul, rolul, caracteristicile și dimensiunile lor — determinându-se locul punctelor de implantare a terminalelor acestora (ce corespund viitoarelor găuri ale cablajului);
- determinarea traseelor conductoare de interconectare a componentelor — stabilind poziția, lățimea, lungimea și distanțele relative ale acestora (fără ca traseele să se intersecteze în același plan);
- amplasarea găurilor de fixare mecanică (a unor componente pe placă și a plăcii în aparat)

Regulile și recomandările de proiectare a cablajelor imprimate sînt prezentate detaliat în lucrările [2] și [28]. Principalele aspecte ce trebuie avute în vedere sînt următoarele:

- găurile pentru terminalele componentelor se plasează în nodurile unei rețele (imaginare) avînd pasul de 2,5 mm;
- diametrele acestor găuri au valori normalizate: 0,8 mm; 1,3 mm și 2 mm;
- lățimea traseelor conductoare depinde de intensitatea curențului prin ele, de temperatura mediului ambiant și de grosimea foliei de cupru (0,35 μm sau 0,70 μm , standardizat);
- distanța minimă între 2 trasee conductoare învecinate este determinată de diferența de potențial dintre acestea;

cînd de la un fotoșablon („film fotografic” sau „mască”) ce se obține, la rîndul lui, prin fotografierea configurației originale a cablajului imprimat.

Prin fotooriginal se înțelege acest suport informațional al configurației cablajului imprimat de realizat. Modalitățile actuale de realizare a unui fotooriginal pentru cablaje imprimate sînt prezentate în fig. 4.11.

De regulă, fotooriginalul este un desen la scară mărită (2:1 ... 4:1) al cablajului și realizat pe o hîrtie specială care asigură atît stabilitatea dimensională cît și contrastul necesar fotografierii. Executarea desenului implică de fapt proiectarea cablajului imprimat — proces relativ complex, ce se realizează fie manual, fie automatizat („proiectare asistată de calculator”), respectînd anumite reguli.

— pentru reducerea la minimum a posibilelor influențe reciproce, se amplasează cât mai distanțat — grupate separat — traseele de semnal mic și cele de semnal mare, căile de joasă frecvență și cele de înaltă frecvență etc.;

— conductorul de masă se realizează distinct de celelalte conductoare imprimate, avînd, de preferință, o lățime cât mai mare.

În cazul unor subansambluri electronice echipate cu circuite integrate digitale, în proiectarea cablajelor imprimate aferente se va ține cont și de *regulile specifice* prezentate în [28].

Avînd în vedere toate aceste considerente, se realizează mai întîi o schiță preliminară de montaj pe baza căreia — după optimizarea și definirea tuturor pozițiilor și dimensiunilor — se execută fotooriginalul.

Pe desenul fotooriginalului se reprezintă traseele conductoare și toate găurile (pentru componente și fixare) — fie prin trasare cu tuș negru, fie prin lipirea unor elemente adezive, special concepute (ca de ex.: segmente de traseu de diferite lățimi și lungimi, drepte sau curbe, „pastile de lipire” — pentru diferite tipuri de componente etc.).

Utilizarea elementelor adezive este foarte eficientă întrucît permite realizarea rapidă și estetică a fotooriginalului. În cazul unicateilor (inclusiv al cablajelor experimentale), unele tipuri de elemente adezive pot fi fixate direct pe folia de cupru — înainte de corodare — preluînd rolul protector al fotorezistului (de la metoda fotografică) sau al cernelii serigrafice (de la metoda serigrafică).

În absența unor astfel de elemente adezive și numai în cazul unicateilor, desenul cablajului imprimat poate fi realizat și direct pe folia de cupru (fără fotooriginal și fotoșablon), utilizînd lichide speciale (ca de ex.: tușul carmin, lacul diluat cu tiner, tinctura de cositorit) rezistente la acțiunea clorurii ferice din baia de corodare.

Aceasta este „metoda manuală” de realizare a desenului cablajului imprimat pe folia de cupru. O variantă a sa, permițînd producția economică și în serie mică a cablajelor imprimate fără fotografiere/serografiere, constă în utilizarea unui șablon (din hîrtie, prespan sau foiță metalică) și vopsirea foliei de cupru prin acesta — cu ajutorul unei pensule sau al unui pulverizator.

În afară de fotooriginal („desen de cablaj”) documentația tehnică necesară producției în serie a unei plăci de cablaj imprimat include [28]: desenul de bază, desenul de poziționare a găurilor, desenul de acoperire selectivă, desenul de poziționare (sau de inscripționare), desenul de echipare.

4.6. REALIZAREA CABLAJELOR IMPRIMATE MULTISTRAT

În prezent există cîteva sute de metode pentru realizarea cablajelor imprimate multistrat, diferența dintre ele constînd, în principal, din modul de realizare a conexiunilor electrice la straturi.

Practic, se utilizează două grupe de procedee de interconectare (fig. 4.12):

- a) procedeele *chimice* („de galvanizare”)
- b) procedeele *mechanice* (prin sudură, lipire, nituire)

Peste 80% din cablajele multistrat produse în prezent în lume sînt realizate pe baza procedeeilor chimice care prezintă următoarele avantaje:

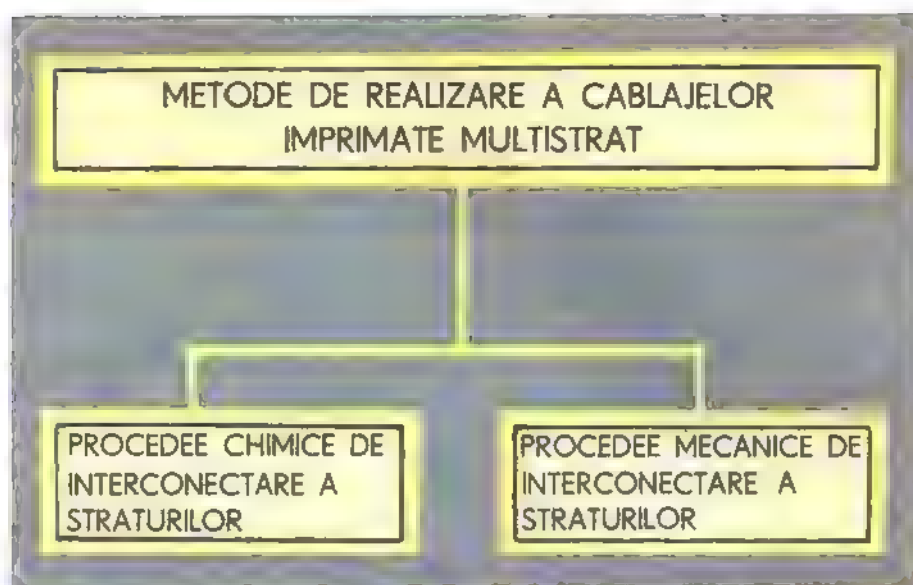


Fig. 4.12. Metode de realizare a cablajelor imprimate multistrat.

- permit interconectarea unui mare număr de straturi
- asigură o densitate ridicată de montaj a componentelor electronice.
- sînt compatibile cu automatizarea.

Diferențele existente între cele două grupe de procedee din punct de vedere al obținerii unei găuri metalizate reies și din fig. 4.13, care prezintă

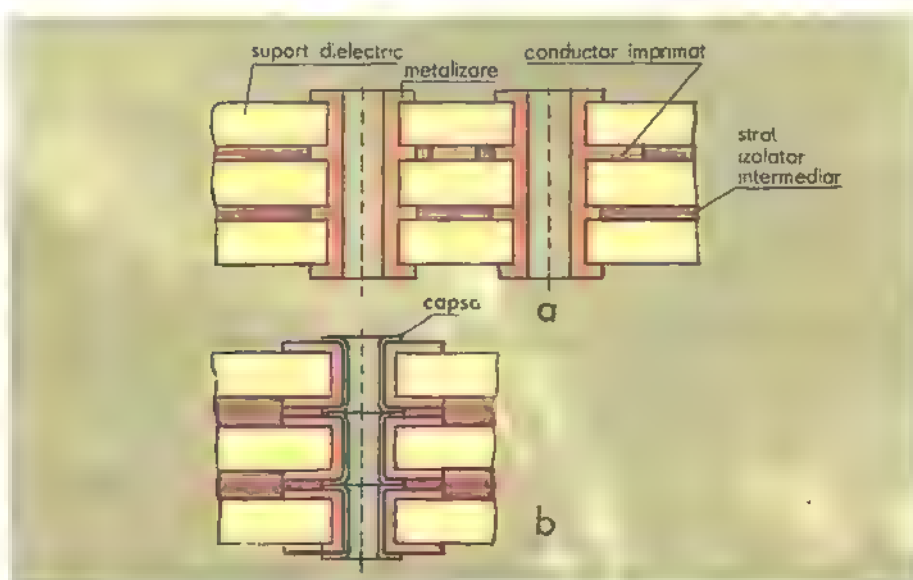


Fig. 4.13. Tipuri uzuale de cablaje imprimate multistrat.

structura unui cablaj cu 2 straturi conductive cuprinse între 3 straturi izolante („suporturi dielectrice“). Unele găuri sînt în contact cu primul strat, iar altele cu al doilea strat — conectarea realizîndu-se prin procedee chimice (fig. 4.13 *a*) sau prin procedee mecanice (fig. 4.13 *b*).

Cel mai răspîndit procedeu mecanic de „metalizare” a găurilor constă în introducerea unor capse metalice (avînd lungimea puțin mai mare decît grosimea stratului izolant — v. fig. 4.13 *b*) în găurile cablajului finit, urmată de bercluirea (răsfrîngerea) ambelor extremități ale capsei.

Este evident că acest procedeu comportă numeroase inconveniente: este laborios și puțin fiabil (întrucît probabilitatea unui contact perfect între capsă și conductorul imprimat este destul de redusă), implică toleranțe foarte strînse pentru găuri și capse, necesită un consum relativ ridicat de materiale (capse) etc.

În consecință, este mai avantajoasă realizarea pe cale chimică a cablajelor imprimate multistrat (și a găurilor metalizate respective). Acest proces tehnologic este ilustrat de fig. 4.14 ... 4.18, pentru un cablaj multistrat avînd 5 straturi conductive (2 — exterioare, 3 — interioare) din folie de cupru (depusă pe un suport izolant) și 4 straturi izolatoare intermediare necesare pentru lipire, izolare și rigidizare), v. fig. 4.14 *a*.

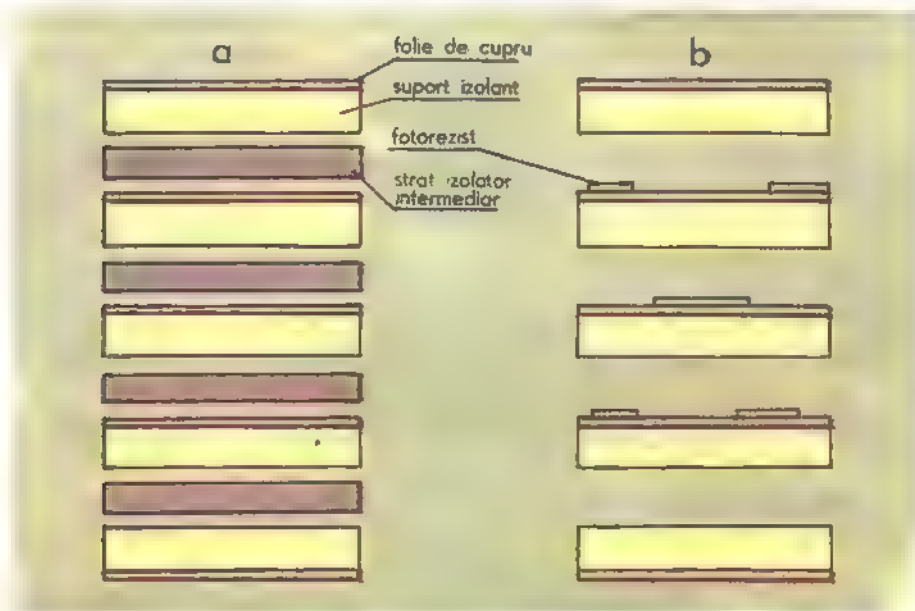


Fig. 4.14. *a*) Elemente componente ale unui cablaj multistrat. *b*) Pregătirea suprafeței straturilor conductive interioare.

Numărul straturilor conductive (de obicei între 4 și 20) constituie unul din parametrii importanți ai cablajului imprimat multistrat. În general, cu cît acest număr este mai mare, cu atît cablajul realizat este mai compact, iar lungimea totală a conductoarelor sale imprimate este mai mare. Numărul straturilor este totuși limitat de complexitatea și prețul de cost al cablajului multistrat obținabil.

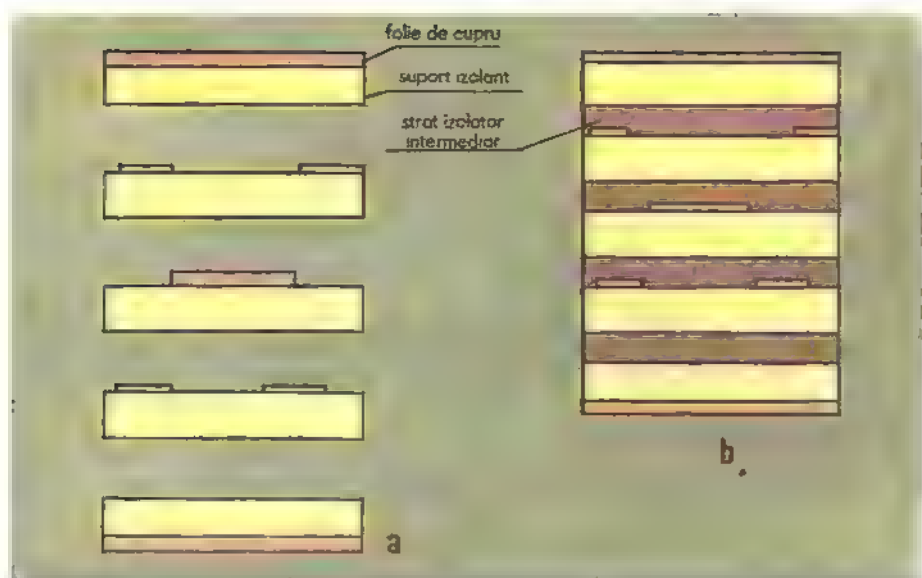


Fig. 4.15. a) Prelucrarea straturilor conductive interioare. b) Suprapunerea și presarea tuturor straturilor.

Cele 5 straturi conductive (cu suportul lor izolan) se prelucrează inițial separat, începînd cu straturile interioare (fig. 4.14 b) ale căror folii de cupru sînt acoperite selectiv cu fotorezist (utilizînd 3 fotoșabloane diferite, corespunzătoare celor 3 configurații de circuit necesare) și prelucrate conform metodei fotografice.

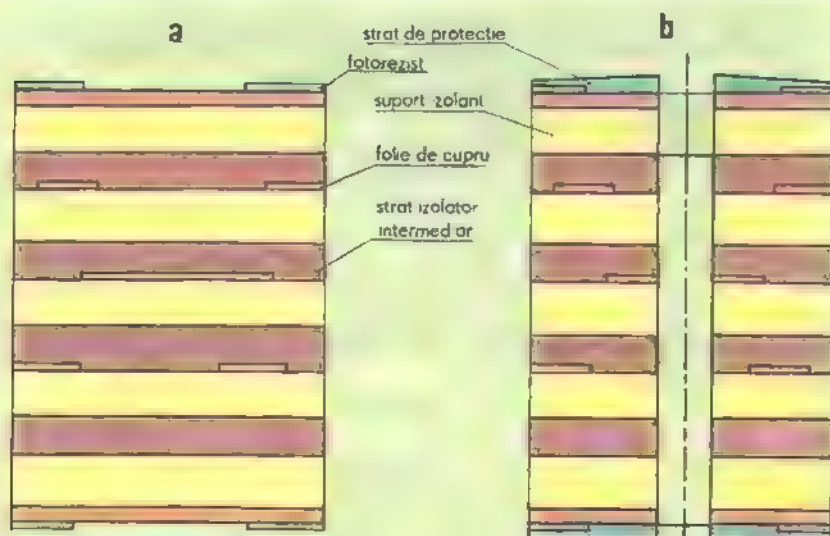


Fig. 4.16. a) Prelucrarea straturilor conductive exterioare. b) Găurirea ansamblului de straturi.

După corodare și îndepărtarea stratului de fotorezist, straturile conductive interioare se prezintă schematic ca în fig. 4.15 a.

Urmează „asamblarea” celor 5 straturi conductive cu cele 4 straturi izolatoare intermediare — prin suprapunere și presare (fig. 4.15 b), pentru a forma o structură unitară, „cablajul multistrat”.

Intrucât cele 2 straturi conductive exterioare au rămas neprelucrate, în etapa următoare (fig. 4.16 a) se realizează și acoperirea selectivă, cu fotorezist, a foliilor de cupru respective (utilizând alte 2 fotoșabloane diferite, ce corespund configurațiilor circuitelor de realizat în aceste straturi), operație după care acestea sînt prelucrate conform metodei fotografice.

Dar corodarea straturilor exterioare nu se poate realiza decît după prelucrarea găurilor traversînd ansamblul celor 5 straturi. În acest scop, este necesară protejerea prealabilă a straturilor conductive exterioare (cu fotorezist depus pe ele) prin acoperirea acestora cu un strat (lac) de protecție — operație după care se poate efectua găurirea transversală a ansamblului (fig. 4.16 b).

Urmează îndepărtarea unui strat tubular de material dielectric din interiorul găurilor (corespunzînd suporturilor izolante și straturilor izolatoare intermediare), astfel încît unul din straturile conductive intermediare (de ex. al 2-lea în fig. 4.17 a) să iasă puțin în relief, depășind profilul longitudinal al găurii.

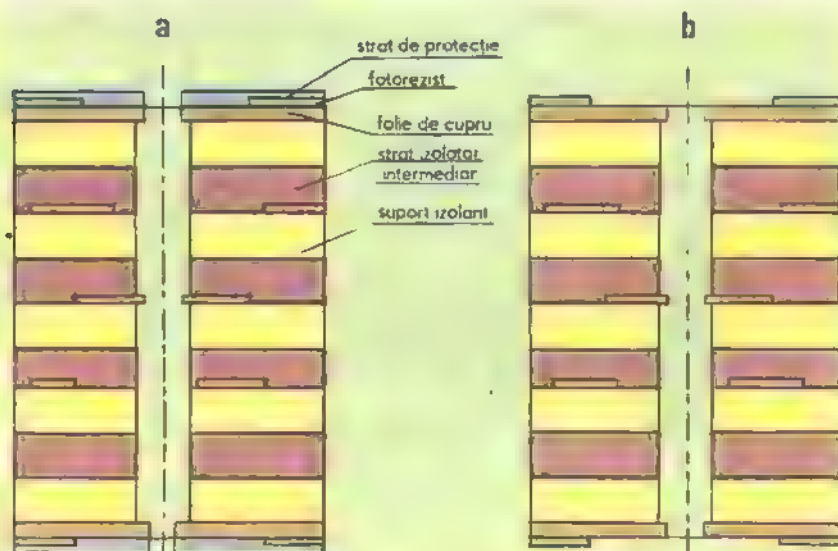


Fig. 4.17. a) Prelucrarea găurilor prin îndepărtarea unui strat tubular de material dielectric. b) Îndepărtarea stratului de protecție și metalizarea găurilor.

În continuare, după îndepărtarea stratului (lacului) de protecție de pe straturile conductive exterioare, se realizează metalizarea cu cupru, pe cale chimică, a găurilor — atât în interiorul lor cît și la extremități (fig. 4.17 b) — realizîndu-se astfel contactul electric dintre stratul conductiv intermediar și straturile conductive exterioare. (Este evident că se poate realiza astfel și un contact electric între mai multe straturi intermediare.)

Pentru îngroșarea stratului de cupru depus în interiorul găurii prin metalizare chimică, în continuare se efectuează și o metalizare galvanică a acesteia — mai întâi tot cu cupru și apoi, pentru protecție, cu aliaj Sn-Ph, Sn-Ni (sau chiar cu aur — în cazul unor cablaje mai pretențioase) — conform fig. 4.18 a. De remarcat că prin această metalizare galvanică se realizează și o îngroșare a straturilor conductive exterioare, în zonele extremităților găurii.

Abia acum se poate finaliza și prelucrarea straturilor conductive exterioare prin corodare, operație după care fotorezistul este îndepărtat din zonele protejate ale acestor straturi (fig. 4.18 b). De menționat că, în general, extremitățile găurilor metalizate sînt izolate electric de traseele straturilor conductive exterioare (dacă schema de principiu corespunzătoare cablajului imprimat multistrat nu impune altfel).

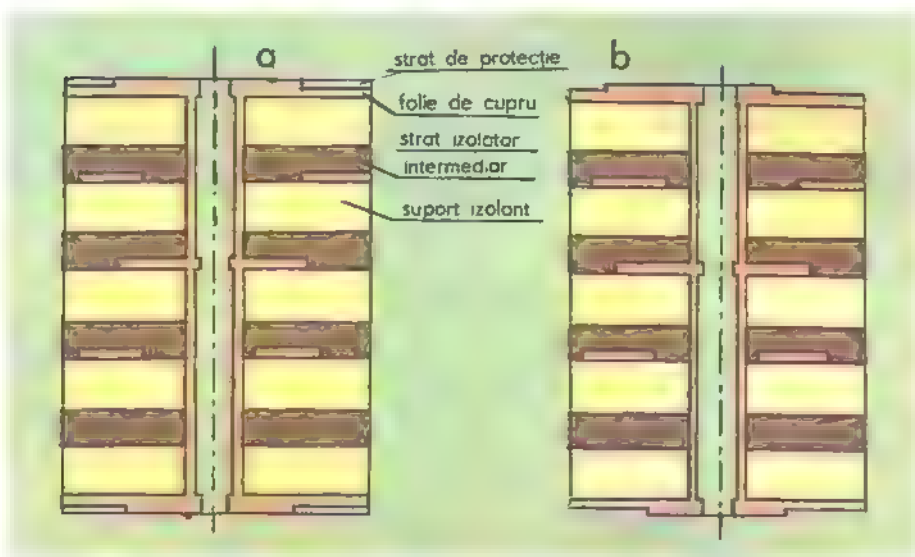


Fig. 4.18. a) Metalizarea galvanică — cu cupru și aliaj — a găurilor. b) Corodarea selectivă a straturilor exterioare și îndepărtarea stratului de fotorezist protector.

4.7. MODELE DE CABLAJE IMPRIMATE

Pentru exemplificare, se prezintă în final câteva modele de cablaje imprimate, corespunzătoare principalelor etape de realizare a lor pe baza metodei serigrafice — cea mai utilizată industrial. Astfel, în fig. 4.19 este fotografiată, înainte de corodare, fața acoperită (prin serigrafiere) a unui semifabricat placat cu cupru. După corodare, cuprul din zonele neprotejate este eliminat, iar zonele acoperite cu cerneală serigrafică rămîn, constituind configurația cablajului imprimat de realizat.

Imaginea acestui cablaj — după spălarea cernelii serigrafice din zonele protejate — este prezentată în fig. 4.20. De remarcat apariția suportului izolant (din pertinax — de culoare roșiatică) în zonele neprotejate din fig. 4.19. Zonele mai late, rămase acoperite cu cupru, reprezintă de obicei conductorul de masă al circuitului imprimat. Toate traseele conductoare (inclu-



Fig. 4.19. Semifabricat plăcat cu cupru și acoperit cu cerneală serigrafică.



Fig. 4.20: Cablaj imprimat, imediat după corodare.

siv conductorul de masă) se acoperă cu un lac protector special — termorezistent și în general colorat — permițând „cositorirea selectivă” a cablajului (după găurire și implantarea componentelor, v. fig. 4.21). În scopul fixării simultane a tuturor terminalelor acestora — de exemplu prin lipire într-o baie de aliaj de lipit.

Acoperirea selectivă cu lac protector a porțiunilor pe care nu trebuie să se depună aliajul de lipit din baie are — pe de o parte — rolul de-a economisi aliajul și de-a evita apariția unor punți conductoare între trasee



Fig. 4.21. Cablaj imprimat acoperit selectiv cu lac în vederea realizării „cositoririi selective”.

vecine ale cablajului, iar — pe de altă parte — constituie un mijloc eficient de protejare a suprafețelor metalice ale cablajului contra coroziunii.

Operația de cositorire selectivă a cablajelor este considerabil facilitată prin precositorirea cablajelor — înainte de implantarea componentelor (fig. 4.22). Se realizează astfel și o protecție anticoroziune a suprafețelor rămase neacoperite cu lac.

În general, fața cablajului pe care se montează componentele este și ea imprimată — tot prin serigrafie, dar cu cerneală de culoare deschisă — în scopul inscripționării codurilor/valorilor componentelor de montat

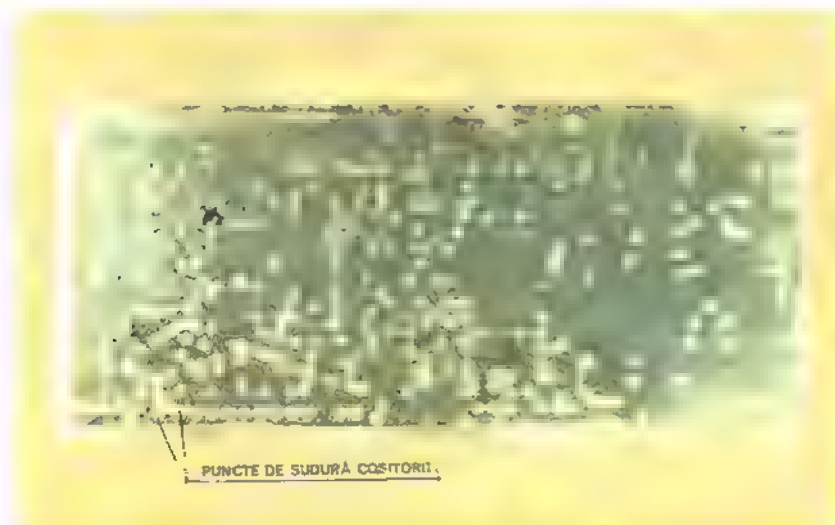


Fig. 4.22. Cablaj imprimat precositorit.

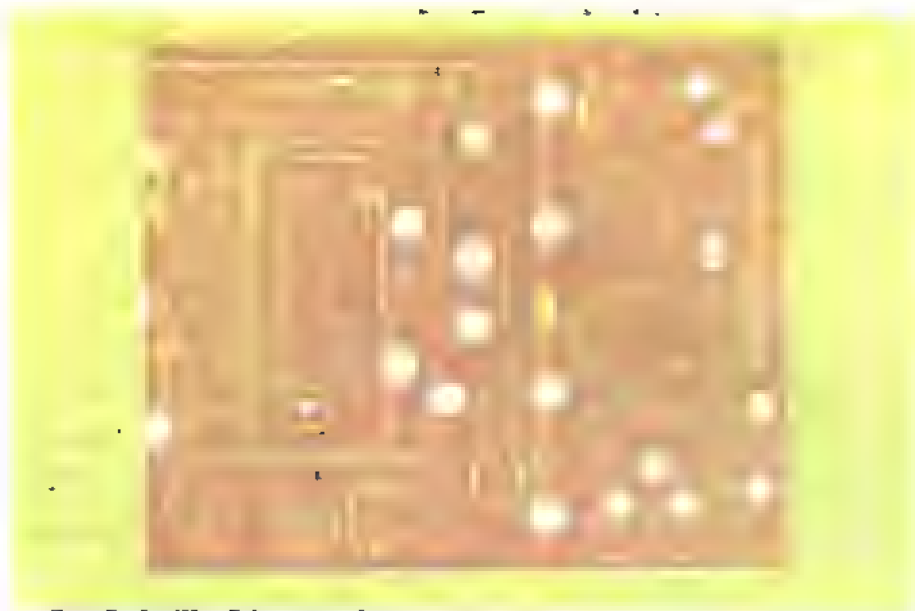


Fig. 4.23. Cablaj imprimat inscripționat/desenat pe fața de amplasare a componentelor.

(eventual și al desenării conturilor acestora) pentru a facilita atât poziționarea cât și identificarea/localizarea componentelor respective (v. fig. 4.23).

După montarea prin lipire a componentelor, cablajul imprimat poate arăta ca în fig. 4.24 (fața cu componente).

S-au notat: C=condensator; T=tranzistor; R=rezistor.

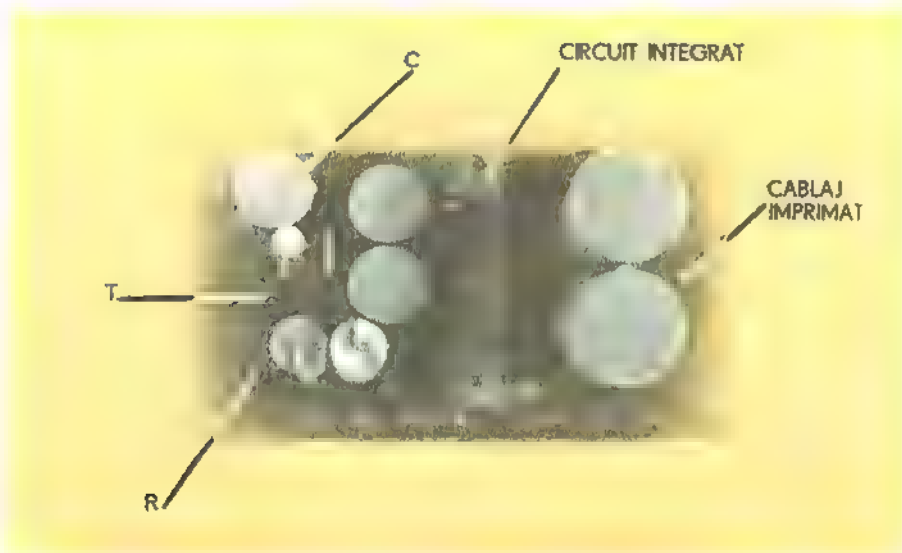


Fig. 4.24. Cablaj imprimat echipat cu componente electronice.

4.8. ECHIPAREA CABLAJELOR IMPRIMATE CU COMPONENTE ELECTRONICE

Înainte de lipirea terminalelor componentelor pe fața placată a unui cablaj imprimat, se efectuează amplasarea și implantarea componentelor electronice în găurile acestuia — operații realizate în general manual și avînd în vedere următoarele reguli/recomandări:

- în fiecare gaură a cablajului se introduce doar un singur terminal;
- în general, componentele se montează în poziție orizontală, cu marcajul în sus și în același sens — pentru a facilita citirea codurilor marcate și, deci, identificarea componentelor. (În cazul necesității asigurării unei foarte mari densități de montare a componentelor, acestea se pot plasa — prin modul de proiectare a cablajului — în poziție verticală; soluția nu este recomandată întrucît implică unele probleme tehnologice);

- corespondența dintre tipul/codul componentei de implantat și locul prevăzut acesteia pe placă trebuie respectată cu strictețe pentru a evita operațiile ulterioare de depanare. De asemenea, se va acorda atenție unicei poziționări corecte posibile a anumitor componente (circuite integrate, tranzistoare, diode, condensatoare electrolitice etc.);

- pentru creșterea (pînă la dublare) a vitezei de echipare manuală a plăcilor cu componente este necesară formarea prealabilă a terminalelor prin tăierea și îndoirea acestora la forma cea mai avantajoasă pentru montare și contactare (de exemplu există cel puțin 10 modalități de formare a terminalelor axiale, fiecare avînd diverse grade de dificultate a operațiilor de formare, implantare, minuire, lipire, depanare specifice [2]);

- în funcție de tipul componentei de montat și pentru a-i reduce solici-tarea termică (în procesul de lipire), se recomandă acele modalități de formare a terminalelor care asigură atît o distanță suficientă a componentei față de placa imprimată cît și o lungime suficientă a terminalelor (permițînd disipația căldurii).

- în toate cazurile, îndoirea terminalelor pe fața placată se va efectua numai în direcția traseelor de cablaj;

- îndoirea terminalelor componentelor nu trebuie efectuată prea aproape de corpul acestora, iar raza de îndoire nu trebuie să fie prea mică (sub 1,5 mm) pentru a nu afecta integritatea componentelor și terminalelor lor. În toate cazurile, se va evita solicitarea mecanică prea intensă a acestora.

Formarea terminalelor se poate realiza manual — cu dispozitive simple, specifice, sau automat — cu echipamente specializate, asigurînd o mare productivitate. Există și sisteme de echipare automată a plăcilor de cablaj imprimat, deosebit de eficiente în cazul producției de serie mare și foarte mare. În asemenea cazuri este recomandabilă integrarea operațiilor de formare a terminalelor, echipare a plăcilor și lipire a componentelor, în cadrul unor linii tehnologice automate complexe.

Componentele — pasive și active — care se montează pe cablaje imprimate (după realizarea lor ca mai sus) se fixează de regulă prin terminalele lor, în găurile special prevăzute din cablaj.

Întrucît, în general, dispozitivele semiconductoare sînt sensibile la șoc termic — putînd fi distruse la lipire — este recomandabilă fixarea circuitelor integrate pe cablaj prin intermediul unor socluri speciale care se lipesc pe

cablaj (în cazul diodelor și al tranzistoarelor lungimea mai mare a terminalelor asigură o disipare importantă a căldurii transmise de la punctele de lipire pe cablaj, uneori acest proces fiind accelerat cu ajutorul unei pensete metalice).

* Componentele mai voluminoase și mai grele (condensatoare electrolitice și variabile, transformatoare, comutatoare, conectoare, radiatoare etc.) se fixează adecvat pe cablaj și cu ajutorul unor piese mecanice corespunzătoare (șuruburi și piulițe, coliere, suporturi/socluri speciale etc.).

Structura cablajelor imprimate permite și realizarea unor componente pasive direct pe cablaj (prin folia de cupru și suportul său izolant): rezistoare, condensatoare și — mai frecvent — bobine (v. § 3.3). Este evident că domeniile de valori și aplicații ale unor asemenea componente sînt relativ restrinse.

În ultimul timp se utilizează pe scară din ce în ce mai largă componentele cu montaj superficial (SMD — Surface Mounted Devices), fără terminale, dar permițînd montajul pe cablaj prin lipirea anumitor zone metalizate de pe corpul lor direct pe acesta. Principalele avantaje ale acestor componente constau în eliminarea operațiilor de formare a terminalelor și în obținerea unei fiabilități superioare în exploatare prin creșterea rezistenței la solicitări mecanice.

FIABILITATEA COMPONENTELOR PASIVE

5.1. NOȚIUNI DE FIABILITATE

Fiabilitatea unui produs reprezintă, din punct de vedere calitativ, proprietatea acestuia de a-și conserva performanțele în limite stabilite, într-un anumit interval de timp și în condiții determinate, [3]. Din punct de vedere cantitativ, fiabilitatea este descrisă de un ansamblu de indicatori, cu ajutorul cărora se poate prevedea comportarea produsului în condiții specifice și se poate anticipa momentul defectării sale. Acești indicatori sînt:

— funcția de fiabilitate $R(t)$: reprezintă probabilitatea ca un produs să funcționeze fără defectare în intervalul $(0, t)$, în condiții determinate:

$$R(t) = P(T > t)$$

unde T reprezintă durata de funcționare pînă la defectare;

— funcția de repartiție a duratei de funcționare pînă la defectare $F(t)$: reprezintă probabilitatea ca produsul să se defecteze înainte de momentul t :

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Cele două funcții sînt complementare:

$$R(t) + F(t) = 1$$

— densitatea de probabilitate $f(t)$ a duratei de funcționare pînă la defectare se definește astfel:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt}$$

— intensitatea (rata) defectărilor $\lambda(t)$ este un parametru de fiabilitate foarte important care caracterizează componentele electronice, și care se poate defini în funcție de parametrii anteriori prin relațiile:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = - \frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$$

Relația dintre $\lambda(t)$ și $R(t)$ se poate pune și sub forma:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\eta) d\eta}$$

Pentru cazul particular $\lambda(t) = \text{constant}$, relația de mai sus devine:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Pentru un circuit electronic, rata de defectare totală este dată de suma ponderată a ratelor de defectare ale tuturor componentelor conținute în circuitul considerat:

$$\lambda_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$$

unde: k = numărul de tipuri de componente conținut în circuit;

n_i = numărul de componente de același tip i din circuit.

În același mod, adunând ratele de defectare ale fiecărui circuit, se află rata de defectare pentru un aparat electronic sau pentru o instalație complexă.

Realizarea de componente fiabile implică o analiză completă a comportării acestora în exploatare și în cadrul încercărilor de fiabilitate; este necesar să se cunoască principalele moduri și mecanisme de defectare a componentelor utilizate în sistemele electronice.

Prin *mod de defectare* al unei componente se înțelege condiția sau parametrul de stare observabil sau măsurabil al acesteia, care explică nefuncționarea componentei în sistem; prin *mechanism de defectare* se înțelege modificarea chimică, fizică și mecanică sau condiția care produce modul de defectare observat, [4].

5.2. FIABILITATEA REZISTOARELOR

Rezistoarele sînt componentele frecvent utilizate (numărul lor reprezintă 30÷40% din numărul total al componentelor unui aparat), a căror fiabilitate determină în mod esențial fiabilitatea circuitului (ansamblului) din care fac parte; pe baza datelor statistice experimentale s-a observat că defecțiunile datorate rezistoarelor reprezintă în medie aproximativ 15% din numărul total al defecțiunilor unui echipament electronic.

Fiabilitatea diferă pentru diferite categorii de rezistoare: utilizînd ca indicator calitativ de fiabilitate valoarea medie a ratei defectărilor, λ , se poate alcătui tabelul 5.1.

Tabelul 5.1.

Valorile medii ale ratelor de defectare λ pentru rezistoare

| Tipul rezistorului | $\lambda_{\text{media}} (10^{-6} \cdot \text{h}^{-1})$ |
|--|--|
| — rezistor cu peliculă metalică sau din oxizi metalici | 0,05 |
| — rezistoare cu peliculă de carbon | 0,1 |
| — rezistoare bobinate | 0,2 |
| — rezistoare variabile | 4 |

Pe baza acestor date se observă că cele mai fiabile sînt rezistoarele cu peliculă metalică sau oxizi metalici, utilizarea lor în aparatura electronică profesională fiind astfel perfect justificată. Rezistoarele variabile — datorită

existenței contactului mobil și a unor piese mecanice în mișcare — sînt mai puțin fiabile.

În calculele de fiabilitate, valorile ratelor de defectare ale componentelor se multiplică cu coeficienți de corecție K_{et} care țin cont de solicitările electrice și termice, și cu coeficienți K_m , care țin cont de solicitările mecanice ale componentelor.

Tabelul 5.2

Moduri și mecanisme de defectare a rezistoarelor

| Tipuri de solicitare | Mecanism de defectare | Modul de defectare care rezultă | Tip de rezistor | | |
|--|--|---------------------------------|-----------------------|---|---------|
| | | | cu peliculă de carbon | cu peliculă metalizată sau oxizi metalici | bobinat |
| A. Solicitare electrică | deteriorarea sau străpungerea elementului rezistiv sau izolației | rezistență modificată | X | X | X |
| | | rezistență întreruptă | X | X | X |
| | | rezistență scurt-circuitată | XX | XX | XX |
| putere disipată excesivă | deteriorarea elementului rezistiv | rezistență modificată | X | X | X |
| | | rezistență întreruptă | X | X | X |
| B. Ambianță | | | | | |
| șocuri, vibrații sau accelerație constantă | deteriorarea elementului rezistiv sau a elementului de fixare | rezistență întreruptă | X | X | X |
| temperatură înaltă | deteriorarea elementului rezistiv sau a izolației | rezistență modificată | X | X | X |
| șoc termic | deteriorarea elementului rezistiv | rezistență modificată | X | X | X |
| | | rezistență întreruptă | X | X | X |
| umiditate ridicată | deteriorarea elementului rezistiv | rezistență întreruptă | X | X | X |
| | coroziune | rezistență întreruptă | X | X | X |
| | scurgere la suprafață | rezistență întreruptă | X | X | X |
| atmosfera corozivă | coroziune | rezistență întreruptă | X | X | X |
| | scurgere la suprafață | rezistență modificată | X | X | X |

XX: depinde de construcție sau de materialul de acoperire

Defecțiunile rezistoarelor fixe, determinate de solicitări electrice ca și de factori de mediu, depind de tipul rezistorului. În tabelul 5.2 sînt evidențiate mecanismele și modurile de defectare ale principalelor tipuri de rezistoare fixe, [4].

5.3. FIABILITATEA CONDENSATOARELOR

Condensatoarele sînt frecvent utilizate în aparatura electronică, ponderea lor atinge, în medie 25% din numărul total de componente folosite. S-a estimat că defecțiunile produse de condensatoare reprezintă cam 15% din numărul total al defecțiunilor, un număr mare din acestea datorîndu-se alegerii sau folosirii necorespunzătoare.

Fiabilitatea condensatoarelor este relativ bună și se apreciază prin rata de defectare λ , care variază de la un tip de condensator la altul, fiind dependentă de condițiile de lucru electrice, mecanice, de mediu etc. În tabelul 5.3 sînt prezentate valorile medii pentru principalele tipuri de condensatoare (folosite în condiții nominale de tensiune și temperatură).

Tabelul 5.3.

Valorile medii ale ratei de defectare pentru condensatoare

| Tipul condensatorului | $\lambda_{\text{media}} (10^{-6} \text{h}^{-1})$ |
|--|--|
| — condensatoare ceramice | 0,1 |
| — condensatoare cu polistiren | 0,05 |
| — condensatoare cu polietilentereftalat | 0,2 |
| — condensatoare cu hîrtie | 1 |
| — condensatoare cu hîrtie metalizată | 0,5 |
| — condensatoare electrolitice cu aluminiu semiuscate | 5 |
| — condensatoare cu tantal cu electrolit solid | 0,1 |
| — condensatoare variabile | 5 |

Condensatoarele variabile și semivariabile, avînd părți în mișcare, au fiabilitate mai mică decît a condensatoarelor fixe.

În tabelul 5.4 sînt prezentate modurile și mecanismele de defectare ale condensatoarelor, [4].

Tabelul 5.4

Moduri și mecanisme de defectare a condensatoarelor

| Tipuri de solicitare | Mecanisme de defectare | Modul de defectare | Tipuri de condensatoare | | |
|---|------------------------|--------------------|-------------------------|--------|---------------|
| | | | ceramice | hîrtie | electrolitice |
| a | b | c | d | e | f |
| A. Solicitare electrică | | | | | |
| tensiune mai mare cu 125% față de normă (rar) | avarie | scurtcircuit | X | | X |
| tensiune mai mare cu 150% față de normă (rar) | avarie | scurtcircuit | X | X | X |

Tabelul 5.4 (continuare)

| a | b | c | d | e | f |
|--|---|--|----|----|----|
| tensiune continuă excesivă | deteriorare dielectric | scurtcircuit | X | X | X |
| | curent de scurgere mare | | | | X |
| | modificare dielectric | modificarea capacității | + | | |
| tensiune alternativă excesivă | supraîncălzire | scurtcircuit | X | X | X |
| | efect Corona | scurtcircuit | X | | |
| curent alternativ excesiv | supraîncălzire | scurtcircuit | X | X | X |
| B. Ambianță șocuri, vibrații sau accelerare constantă | deteriorare a fixării sau internă | întrerupt sau scurtcircuit | X | X | X |
| temperatură înaltă | deteriorare dielectric | scurtcircuit | X | X | X |
| | curent de scurgere mare | scurtcircuit | X | X | X |
| | modificare dielectric | modificarea capacității | + | | |
| temperatură înaltă | deteriorarea izolației | scurtcircuit | X | | |
| | pierdere electrolit | rezistență serie mare sau întreruptă | | | X |
| temperatură joasă | deteriorarea izolației | modificarea capacității | | X | |
| | micșorarea conductivității electrolitului | rezistență serie mare | | | ++ |
| | modificare dielectric | modificarea capacității | + | | |
| încălzire ciclică | deteriorarea izolației | modificarea capacității | X | X | X |
| | modificare dielectric | modificarea capacității | + | | |
| șoc termic | deteriorarea izolației | scurtcircuit | X | X | X |
| | deteriorare dielectric | modificarea capacității sau scurtcircuit | | | X |
| umiditate ridicată acoperire ermetică acoperire neermetică | scurgere la suprafață | rezistență paralel mică | ++ | ++ | ++ |
| | scurgere internă | scurtcircuit | | X | |

Tabelul 5.4 (continuare)

| a | b | c | d | e | f |
|--|---------------------------|---|---|---|---|
| atmosferă corozivă; acoperire ermetică acoperire neermetică | scurgere la suprafață | scurtcircuit | X | X | |
| | coroziune internă | scurtcircuit | X | X | |
| vid înalt | scurgere exterioară | scurtcircuit | X | X | |
| | pierdere electrolit | rezistență serie mare | | | X |
| radiații | deteriorare dielectric | scurtcircuit | | X | |
| | ionizare internă | curent de scurgere sau scurtcircuit | | X | |

+ supratensiune sau putere disipată peste limita admisibilă

++ depinde de construcție sau de materialul de acoperire

5.4. FIABILITATEA BOBINELOR

Bobinele sînt elemente cu siguranță în funcționare relativ scăzută, defecțiunile lor ducînd și la defectarea altor componente alăturate. Fiabilitatea bobinelor este destul de variată în funcție de tipul constructiv al bobinei, de domeniul său de utilizare, de condițiile de realizare, de modul de întreținere și exploatare etc. [3].

Valoarea medie a ratei de defectare este:

— pentru bobine: $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$

— pentru transformatoare de joasă frecvență: $\lambda = 1 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$

Cele mai frecvente moduri de defectare a bobinelor și transformatoarelor constau în scurtcircuitarea bobinajului datorită mecanismului de străpungere a materialului izolator.

Defectările prin întreruperea bobinajului apar destul de rar; solicitările electrice excesive și de ambianță pot duce la străpungerea izolației. De aceea, alegerea clasei de izolație corespunzătoare diferitelor tipuri de aplicații (cu diferite regimuri termice și electrice) prezintă o importanță deosebită pentru fiabilitatea elementelor inductive.

În tabelul 5.5 sînt date mecanismele și modurile de defectare ale bobinelor și transformatoarelor.

Tabelul 5.5

Moduri și mecanisme de defectare pentru bobine și transformatoare

| Tipuri de solicitare | Mecanisme de defectare | Modul de defectare | Bobine | Trans- forma- toare | OBS. |
|--------------------------------|--|---------------------------------|--------|---------------------------|------|
| a | b | c | d | e | f |
| A. Solicitări electrice | | | | | |
| supratensiune mare | străpungerea instantanee a izolației | scurtcircuitarea bobinajului | X | X | |

Tabelul 5.5 (continuare)

| a | b | c | d | e | f |
|---|---|---|---|---|---|
| | efect Coroana 1) | scurtcircuitarea sau întreruperea (rar) a izolației | X | X | 1) prin eliberare de ozon și încălzire acelerează îmbătrânirea izolației |
| supratensiune moderată (aprox. 120% față de normă) | grăbește străpungerea prematură a izolației | scurtcircuitarea bobinajului | X | X | |
| curent excesiv în secundar | supraîncălzire și micșorarea rigidității elec- trice a izolației | întreruperea sau scurt- circuitarea bobinajului | | X | |
| | deformarea carcasei 2) | modificarea parametrilor electrici ai bobinajului 2) | | X | 2) prin dilatarea compoundului de umplere |
| scăderea frecvenței de intrare sub limita prescrisă | creșterea excesivă a temperaturii 3), 4) | scurtcircuitarea sau întreruperea bobinajului | X | X | 3) prin scăderea reactanței și creșterea curentului peste limita prescrisă |
| creșterea frecvenței de intrare peste limita prescrisă | și scăderea rigidității electrice a izolației | scurtcircuitarea sau întreruperea bobinajului | | | 4) prin creșterea pierderilor în miez |
| B. Ambianță | | | | | |
| șocuri, vibrații sau accelerație constantă | deformarea carcasei sau bobinajului | modificarea parametrilor electrici | X | X | |
| | deteriorarea fixării | circuit întrerupt | X | X | |
| temperatură înaltă | deteriorarea izolației | modificarea parametrilor electrici | X | X | |
| | | scurtcircuitarea sau întreruperea bobinajului | X | X | |
| umiditate ridicată | coroziune | întreruperea bobinajului | X | X | |
| | scurgere la suprafață | micșorarea factorului de calitate | X | | |
| atmosferă corozivă | coroziune | întreruperea bobinajului | X | X | |
| | scurgere la suprafață | micșorarea factorului de calitate | X | | |
| radiații | deteriorarea izolației | scurtcircuitarea bobinajului | X | X | |

5.5 FIABILITATEA CABLAJELOR IMPRIMATE ECHIPATE CU COMPONENTE

Întrucît principala funcție a cablajelor imprimate constă în interconectarea componentelor din circuitele electronice, fiabilitatea acestora este determinată, în mod esențial, de calitatea conexiunilor prin lipire efectuate între terminalele componentelor și traseele cablajului.

Valoarea medie a intensității (ratei) de defectare λ [$10^{-6}/h$] a conexiunilor prin lipire este indicată în normativele de fiabilitate (în scopul determinării fiabilității previzionale) ca fiind de ordinul 0,2 (pentru lipirea manuală) sau 0,05 (pentru lipirea automată). Dar din analiza statistică a unor date experimentale rezultă valori și mai mici ale acestui indicator (de ordinul $10^{-2} \dots 10^{-3}$) [2]. Comparativ cu alte procedee de conectare a componentelor pe cablaje (sudura electrică, sertizarea, wraparea), lipirea este apreciată ca fiind suficient de fiabilă pentru echipamentele electronice.

Deși rata de defectare a conexiunilor prin lipire este relativ redusă, datorită numărului lor relativ mare (de ordinul sutelor... miilor — pentru o singură placă de cablaj imprimat) în structura unui echipament electronic (depinzind de complexitatea acestuia) influența fiabilității conexiunilor asupra fiabilității ansamblului poate fi foarte importantă.

De exemplu, în cazul echipamentelor electronice mobile/portabile, solicitările mecanice (vibrații, șocuri, accelerații/decelerații) și climatice (temperatură, umiditate) aplicate acestora influențează considerabil și în mod defavorabil fiabilitatea conexiunilor prin lipire — aspect ce trebuie luat în considerare la proiectarea și efectuarea conexiunilor prin lipire.

Principalele căi pentru reducerea la minimum posibil a procentului de defecte datorate conexiunilor prin lipire sînt [2]:

- selectarea unor materiale și tehnologii de lipire adecvate;
- existența unei bune sudabilități a suprafețelor de lipire;
- controlarea riguroasă a calității materialelor de lipire și a suprafețelor de lipit (atît înainte de lipire cît și periodic, în cursul procesului de lipire);
- respectarea riguroasă a procesului tehnologic de lipire (implicînd controlul permanent al parametrilor acestuia);
- controlarea calității conexiunilor prin lipire obținute (în principal, prin verificarea aspectului vizual al conexiunilor, cu ajutorul unei lupe speciale, de diametru adecvat și mărind de cel puțin 10 ori).

Astfel, din acest ultim punct de vedere, o conexiune prin lipire corect realizată trebuie să aibă:

- suprafața lipiturii — lucioasă și strălucitoare (fără iregularități, crăpături, asperități etc.);
- forma — tronconică, avînd profil concav și o înălțime maximă (deasupra cablajului) de cel mult 0,5... 0,8 din diametrul pastilei de lipire a terminalului;
- aliajul de lipit — acoperind complet și uniform terminalul respectiv (și avînd unghiurile de contact — atît cu terminalul cît și cu pastila de lipire — sub 30°);
- găurile metalizate (în cazul cablajelor dublu-strat și multi-strat) umplute — prin capilaritate — cu aliaj de lipit.

În principiu, orice abatere de la aceste caracteristici ideale poate fi considerată ca un defect — deși nu orice abatere afectează fiabilitatea plăcii echipate cu componente.

Principalele defecte conducând la nefuncționarea (sau funcționarea defectuoasă) a unei plăci echipate — și care pot fi identificate prin control vizual — sînt:

- a) defecte de formă — de ex. „punți” și/sau „stalactite” (datorate excesului de aliaj de lipit aplicat). Primele constituie un defect major întrucît scurtcircuitează trasee/terminale adiacente;
- b) defecte de aspect — de regulă datorate umeclării necorespunzătoare (sau deumeclării) suprafeței de lipire a cablajului sau terminalului;
- c) defecte datorate prelucrărilor mecanice (tăiere, găurire) necorespunzătoare ale cablajelor imprimate: exfolieri, găuri prea mari/mici sau plasate necorespunzător etc. Tensiunile interne produse în placă pot determina defectarea prin oboseală a îmbinărilor lipite;
- d) defecte de montaj — datorate terminalelor prea scurte (sau formate necorespunzător) ale componentelor;
- e) alte defecte: cavități, lipituri „reci”/„galbene”/„grăunțoase”/false/mate, incluziuni, microfisuri, reziduuri albe, curbarea plăcii de cablaj imprimat etc.

Toate aceste defecte posibile — cu cauzele și consecințele lor precum și cu modurile și mecanismele lor de defectare specifice — sînt prezentate pe larg în lucrarea [2], insistîndu-se asupra măsurilor preventive necesare.

TEHNOLOGIA DE MONTARE A COMPONENTELOR PE SUPRAFAȚĂ

Tehnologia de montare a componentelor pe suprafață cuprinde un ansamblu de operații efectuate automat, care au drept rezultat fixarea componentelor electrice miniatură pe suprafața unui circuit imprimat sau pe un substrat de circuit hibrid [25], [27].

Componentele electrice destinate montajului pe suprafață sînt denumite în mod generic în literatura de specialitate „Surface Mounted Devices” (SMD), iar procesul tehnologic de realizare a plăcilor de circuit imprimat (a subansamblurilor) echipate cu astfel de componente este cunoscut sub denumirea de „Surface Mounting Assembly” (SMA) sau „Surface Mounted Technology” (SMT).

Tehnologia de montare a componentelor pe suprafață este o tehnologie nouă, în plină ascensiune, și citeva date statistice și de prognoză pot sugera ritmul de dezvoltare pentru SMD și SMA. Astfel:

- se estimează că, pînă în 1990, componentele specifice acestei tehnologii vor atinge 50% din totalul componentelor asamblate, iar peste 25 de ani componentele cu terminale se vor utiliza numai în acele aplicații unde nu se pot înlocui din motive tehnice sau economice;

- în realizarea plăcilor de cablaj imprimat (PCI), în prezent, prin folosirea tehnicilor de imprimare și a componentelor deja existente, se pot obține reduceri de suprafață de pînă la 64%; costurile de obținere a PCI echipate scad la jumătate, iar cheltuielile de fabricație se reduc cu pînă la 35%;

- tehnologia automată SMA ajunge în prezent la un nivel al erorilor de poziționare de $10 \div 20$ ppm față de $1\,000 \div 2\,000$ ppm la plantarea automată a componentelor cu terminale, sau $2\,500 \div 6\,000$ ppm în cazul plantării manuale;

- productivitatea utilajelor comercializate pentru SMA ajunge la $250\,000 \div 500\,000$ SMD/oră (1986), ritmurile de fabricație fiind fără precedent în industria electronică de pînă acum;

- în anul 1986 necesarul de SMD a fost:

- pentru S.U.A.: 10-10 bucăți SMD

- pentru Europa: 11,5-10 bucăți SMD

- pentru Japonia: 12-10 bucăți SMD. [26]

În cele ce urmează se vor prezenta numai componentele pasive specifice acestei tehnologii și citeva reguli de proiectare a cablajelor imprimate aferente; componentele active SMD vor fi tratate în volumul II al seriei „Electronica în imagini”.

6.1. COMPONENTE ELECTRONICE PASIVE SMD

Componentelor electronice specifice tehnologiei de montare pe suprafață li se impun următoarele cerințe:

- parametrii electrici trebuie să fie similari componentelor electronice cu terminale;
- dimensiunile componentelor trebuie să fie mult reduse, dar să ofere posibilitatea manevrărilor de către utilaje automate;
- componentele trebuie să reziste la șocuri termice.

6.1.1. REZISTOARE

Rezistoarele sînt fabricate în gama $1\ \Omega \div 10\ \text{M}\Omega$, cu toleranțe $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, la puterea de $0,125\ \text{W}$, $U_{\text{max}} = 200\ \text{V}$, cu dimensiunile: $L = 3,2\ \text{mm}$, $l = 1,6\ \text{mm}$, $H = 0,6\ \text{mm}$, v. fig. 6.1, (se produc și rezistoare pentru $P_n = 0,1\ \text{W}$, dimensiunile lor fiind ceva mai mici: $2,0 \times 1,25 \times 0,6\ \text{mm}$). Lățimea suprafeței metalizate, de contact, este de $0,51\ \text{mm}$ (pentru $P_n = 0,1\ \text{W}$) sau de $0,76\ \text{mm}$ (pentru $P_n = 0,125\ \text{W}$).

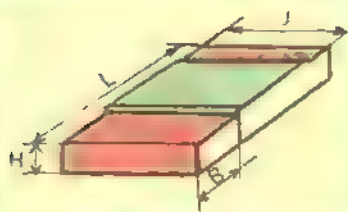


Fig. 6.1. Rezistor: L — lungimea; l — lățimea; H — înălțimea; B — lățimea suprafeței metalizate de contact.

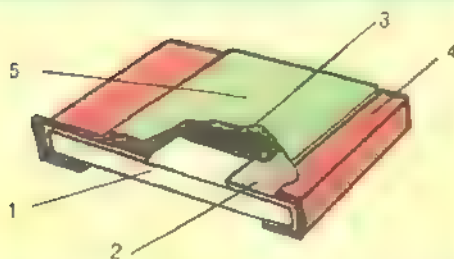


Fig. 6.2. Structura unui rezistor: 1 — suport de alumina; 2 — peliculă de argint-paladiu; 3 — peliculă rezistivă; 4 — strat metalic (electrod extern); 5 — strat de protecție (glazură).

Structura și tehnologia de obținere a unui astfel de rezistor sînt similare structurii și tehnologiei rezistoarelor cu peliculă de oxizi metalici: pe un substrat de alumina (Al_2O_3) de înaltă puritate, 1 (fig. 6.2.), se depun prin serigrafie, la extremități, două zone plane din peliculă de argint-paladiu (Ag-Pd), 2, iar între acestea pelicula rezistivă, 3. Structura și grosimea acestei pelicule sînt determinate de valoarea nominală ce se dorește a fi obținută, ajustarea efectuîndu-se cu fascicul laser, după fixarea peliculei rezistive prin tratament termic. Urmează apoi depunerea unui strat metalic, 4, la extremitățile cipului rezistiv, care asigură contactul electric între pelicula rezistivă și circuitul imprimat și permite fixarea rezistorului pe placa de cablaj. Pelicula rezistivă este protejată cu un strat de glazură, 5. Componentele realizate astfel pot să reziste la imersie totală în aliaj de lipit și au o intensitate (rată) de defectare $\lambda \leq 10^{-9} h^{-1}$.

La aceleași dimensiuni se fabrică și o componentă de valoare 0 Ω , folosită în scurtcircuitarea traseelor [25], [26], [27].

Rezistoare în prezentare SMD au fost asimilate și omologate în țară la CCSIT - CE, I.C.P.E., I.P.E.E. - Curtea de Argeș.

6.1.2. CONDENSATOARE CERAMICE MULTISTRAT

Condensatoarele ceramice folosite în această tehnologie sînt condensatoare multistrat tip „cip”, a căror structură și tehnologie a fost prezentată în 2.4.1.

Un astfel de condensator este ilustrat în figura 6.3, iar dimensiunile condensatoarelor fabricate la I.P.E.E. - Curtea de Argeș sînt date în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

Dimensiunile limită ale condensatoarelor ceramice multistrat tip „cip”

| Dimensiunea | Valoarea minimă — Valoarea maximă (mm) |
|--------------|--|
| $L \pm 0,5$ | 1,27 ÷ 5,59 |
| $l \pm 0,5$ | 1,02 ÷ 6,35 |
| H_{max} | 1,15 ÷ 2,56 |
| $B \pm 0,25$ | 0,25 ÷ 0,76 |

Parametrii electrici ai acestor condensatoare fabricate în țară sînt date în Tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

Parametrii electrici ai condensatoarelor ceramice multistrat

| Parametrii electrici | Condensatoare ceramice tip I | Condensatoare ceramice tip II |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|
| valoare nominală | 3,3pF ÷ 18nF | 100pF ÷ 1 μ F |
| toleranță | \pm (2,5; 5; 10; 20) % | \pm (5; 10; 20) % |

Tabelul 6.2 (continuare)

| | Condensatoare ceramice tip I | Condensatoare ceramice tip II |
|---|--|---|
| tensiune nominală | 50, 100, 200 V _{cc} | 50, 100, 200 V _{cc} |
| tangenta unghiului de pierderi | $\operatorname{tg} \delta \leq 15 \cdot 10^{-2}$ pt. $C_n \geq 50 \text{ pF}$; $\operatorname{tg} \delta \leq 1,5 \left(\frac{150}{C_n} + 7 \right) \cdot 10^{-4}$ pt. $5 < C_n \leq 50 \text{ pF}$ | $\operatorname{tg} \delta \leq 3 \cdot 10^{-2}$ |
| rezistența de izolație | $R_{iz} > 10 \text{ G}\Omega$ | $R_{iz} > 4 \text{ G}\Omega$ pt. $C_n \leq 25 \text{ nF}$; $\tau = 100 \text{ s}$ pt. $C_n > 25 \text{ nF}$ |
| coeficient de variație cu temperatura | $\alpha_c = 0 \div \pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ | variație maximă cu temperatura între $-50^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C}$: $\pm 20\% C_n$ |

Condensatoarele pot fi imersate în aliaj de lipit la $230^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, timp de 10 secunde.

6.1.3. CONDENSATOARE ELECTROLITICE CU ALUMINIU

Aceste condensatoare sînt realizate pentru $C_n = 0,1 \text{ }\mu\text{F} \div 2,2 \text{ }\mu\text{F}$, toleranța $-10\% \div +50\%$, tensiunea nominală $U_n = 6,3 \div 63 \text{ V}$ și dimensiuni $8 \times 3,6 \times 3,7 \text{ mm}$ sau $12 \times 3,6 \times 3,7 \text{ mm}$ (fig. 6.4). Au aceeași structură ca și condensatoarele electrolitice cu electrolit lichid: folii de aluminiu asperizate bobinate împreună cu straturi de hîrtie impregnate în electrolit lichid; totul este închis în cutie de aluminiu și protejat într-o capsulă de plastic. Două zone metalizate, axiale permit conectarea condensatorului pe cablajul imprimat (PCI) [25].

6.1.4. CONDENSATOARE ELECTROLITICE CU TANTAL

Condensatoarele electrolitice cu tantal, specifice acestei tehnologii, au aceeași structură ca și condensatoarele cu tantal cu terminale. Ele se obțin pentru $C_n = 0,1 \text{ }\mu\text{F} \div 100 \text{ }\mu\text{F}$, cu toleranța $\pm (5, 10, 20)\%$ și $U_n = 4 \div 50 \text{ V}$. Dimensiunile sînt cuprinse între limitele: $2,54 \times 1,27 \times 1,27 \text{ mm}$ și $7,25 \times 3,81 \times 2,79 \text{ mm}$ iar forma lor este paralelipipedică (fig. 6.5) [25].

Astfel de componente au fost asimilate la Tehnoton — Iași.

6.1.5. TERMISTOARE

Termistoarele folosite în tehnologia SMD au coeficient de temperatură negativ și sînt construite sub forma unor discuri de diametru $\varnothing = 2,9 \text{ mm}$, de înălțime $H = 0,7 \div 3 \text{ mm}$, cu două zone metalizate de contact pe o față a discului. Sînt de valoare nominală de $2,2 \text{ k}\Omega$, cu constanta $B = (3\,350 \div 4\,300) \text{ K}$.

Există și termistoare cu coeficient de temperatură pozitiv; de asemenea, și varistoare miniatură [25].

Fig. 6.3. Condensator ceramic multi-strat: L — lungimea; l — lăţimea; H — înălţimea; B — lăţimea zonei metalizate.

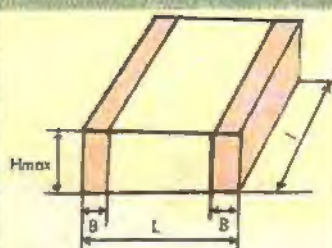


Fig. 6.4. Condensator electrolitic cu electrolit lichid: L — lungimea; l — lăţimea; H — înălţimea.

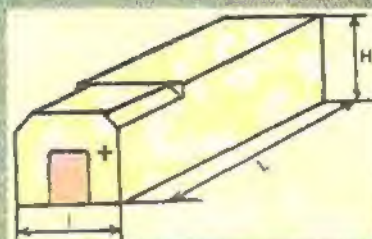
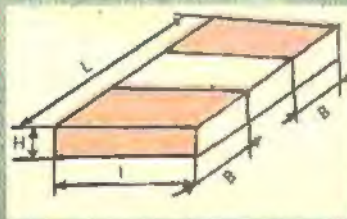


Fig. 6.5. Condensator electrolitic cu tantal: L — lungimea; l — lăţimea; H — înălţimea; B — lăţimea zonei metalizate.



6.1.6. REZISTOARE SEMIVARIABILE

Pentru această tehnologie s-au construit rezistoare semivariabile cermet, simple sau multitură, cu valoare nominală în gama $1 \Omega \div 500 \text{ k}\Omega$, de toleranță $\pm 10\%$, cu $P_n = 0,5 \text{ W}$ (la 85°C) și de dimensiuni $5,1 \times 5,1 \times 3,8 \text{ mm}$ sau $6,4 \times 6,4 \times 5,1 \text{ mm}$ [25].

6.1.7. BOBINE

Valorile inductanței pentru bobinele construite în această tehnologie sînt cuprinse între $4 \text{ nH} \div 1 \text{ mH}$, cu toleranța $\pm 10\%$. Dimensiunile pentru astfel de bobine (fig. 6.6) sînt cuprinse, în funcție de valoarea inductanței, între următoarele limite:

$$\begin{aligned} L &= 2,79 \div 4,064 \text{ mm} \\ l &= 2,03 \div 2,794 \text{ mm} \\ H &= 1,40 \div 2,54 \text{ mm} \\ B \pm 0,1 &= 0,51 \div 0,762 \text{ mm} \end{aligned}$$

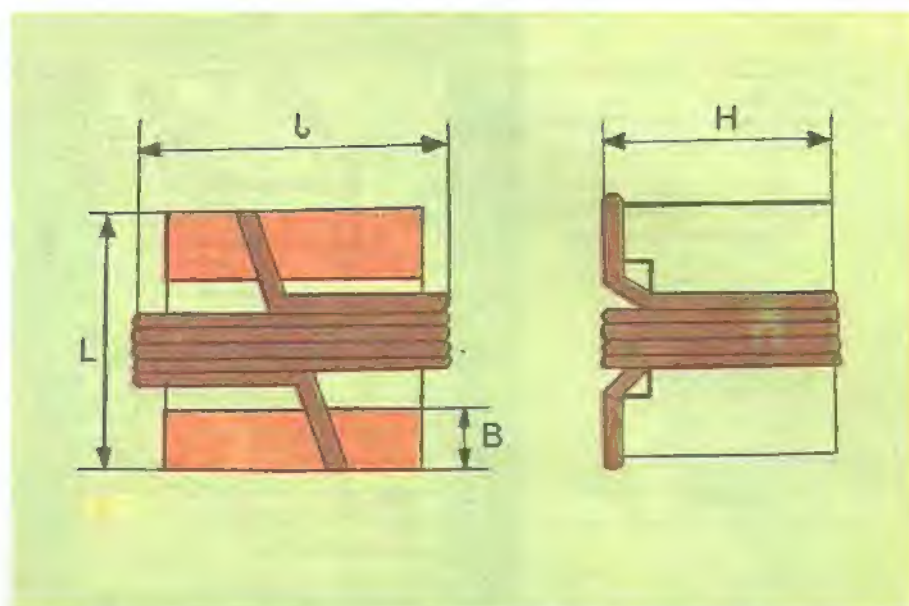


Fig. 6.6. Bobină: L — lungimea; l — lăţimea; B — zona metalizată.

Pentru bobinele cu miez de ferită valoarea inductanţei este cuprinsă între $1 \text{ mH} \div 470 \text{ mH}$, cu toleranţa $\pm 20\%$ iar dimensiunile cipului sînt de $4,2 \times 4,8 \times 3,7 \text{ mH}$ [25], [29].

Toate componentele specifice acestei tehnologii sînt livrate în benzi cu alveole, bobinate pe role, în magazine speciale sau în vrac, în funcţie de echipamentul automat de poziţionare aflat în dotare.

6.2. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND TEHNOLOGIA MONTĂRII PE SUPRAFAȚĂ A COMPONENTELOR

Realizarea cablajelor imprimate pentru SMA implică respectarea considerentelor generale de proiectare a PCI, dar și apariția unor reguli specifice acestei tehnologii, impuse de procesul tehnologic în sine.

Datorită minimizării dimensiunilor componentelor se folosește o rețea modulară de $1,27 \text{ mm}$, iar lăţimea traseelor și distanța dintre ele poate fi micșorată pînă la $100 \mu\text{m}$, prevăzîndu-se însă prin proiectare modalități de verificare, reparare și întreținere a subansamblului considerat.

Procedeele de realizare a lipirii componentelor pe suport utilizate frecvent sînt *lipirea prin retopire* și *lipirea în val*; ele determină la rîndul lor reguli proprii de proiectare a traseelor de cablaj imprimat, impunînd mărirea suprafeței de conectare și dispunerea componentelor.

Fluxul tehnologic al unei PCI realizată prin lipire „prin retopire” cuprinde:

- realizarea traseelor de cablaj imprimat;
- depunerea aliajului de lipit pe toată suprafața PCI;
- plasarea automată a componentelor de către mașini automate de poziționat;

- încălzirea PCI cu componentele poziționate, la temperatura necesară realizării simultane a tuturor lipiturilor, încălzire care se face cu plită caldă, cu radiații infraroșii sau prin șoc termic (produs de condensarea unor compuși fluorurați, cu temperatura de fierbere de aproximativ 200°C).

Acest procedeu folosește numai componente SMD plasate pe o singură față a cablajului imprimat, obținându-se o densitate maximă de componente.

Lipirea „în val” este folosită atunci când se utilizează componente SMD alături de componente cu terminale; fluxul tehnologic de obținere a unei PCI echipate prin această metodă implică:

- proiectarea corespunzătoare a cablajului imprimat, ținând cont de faptul că pentru componentele cu terminale trebuie prevăzute găuri, iar componentele SMD (fiind concepute să suporte șocul termic la trecere prin baia de aliaj de lipit) se vor plasa pe partea placată;

- realizarea PCI astfel proiectată;
- depunerea adezivului pentru fixarea componentelor SMD, poziționarea componentelor și uscarea adezivului cu radiații ultraviolete sau infraroșii (pentru a asigura fixarea componentei pe zona de contactare respectivă);
- plantarea componentelor cu terminale;
- lipirea în instalație de lipire în val, cu componentele SMD trecând prin valul de aliaj de lipit.

Lipirea în val implică, față de lipirea prin retopire, suprafețe mai mari de contactare a componentelor și o orientare a acestora în lungul unei de aliaj de lipit pentru a evita rotirea componentelor înalte sau blocarea unei, precum și apariția unor fenomene de „umbră” (scurtcircuit între două componente), sau de „punte” (scurtcircuit între mai multe componente).

Tehnologia montării pe suprafață a componentelor oferă, prin urmare, câteva certe avantaje:

- miniaturizarea componentelor și proiectarea corespunzătoare a traseelor de cablaj imprimat determină reducerea drastică a dimensiunilor PCI;
- datorită procesului de producție complet automatizat numărul defectelor rezultate în timpul procesului de producție este foarte mic (numărul de defecte poate scădea cu până la 99%), comparativ cu plantarea automată a componentelor cu terminale;

- această tehnologie asigură o calitate superioară produselor finite, o comportare mai bună a circuitelor în înaltă frecvență (elementele parazite practic dispar), rezistență mai mare la solicitări mecanice, deci o fiabilitate ridicată;

- costul unui circuit electronic realizat prin această tehnologie se reduce cu până la 50% datorită vitezei mari de asamblare, reducerii consumului de materiale, folosirii cablajelor fără găuri sau cu număr mic de găuri.

Dezavantajele de moment ale acestei tehnologii constau în:

- necesitatea reproiectării cablajelor;
- obținerea tuturor tipurilor de componente în formă SMD;
- procurarea echipamentelor automate de montare;
- efort financiar inerent asimilării unei tehnologii noi.

BIBLIOGRAFIE

1. Apostol, P. — *Rezistoare, condensatoare, bobine*. Ed. Tehnică, Buc. 1969
2. Bacivarof, I. — *Conexiuni prin lipire în aparatura electronică*. Ed. Tehnică, Buc. 1984
3. Bortnowski, G. A. — *Circuite imprimate în construcțiile radioamatorilor*. Ed. Tehnică, Buc. 1974
4. Cătuneanu, V. (coordonator) — *Materiale pentru electronică*. E.D.P. Buc. 1982
5. Cătuneanu, V., Svasla, P. (coordonatori), Moraru, D. ș.a. — *Tehnologie electronică*. E.D.P., Buc. 1984
6. Cătuneanu, V. (coordonator), Moraru, D. ș.a. — *Tehnologie electronică — componente pasive (îndrumar de laborator)*. I.P.B., Buc. 1984
7. Codreanu, C., Coloși, T., — *Termistoare și varistoare în măsurări și automatizări*. Ed. Tehnică, Buc. 1970
8. Drăgulănescu, N. — *Agenda radioelectronistului*. Ed. Tehnică, Buc. 1984; 1989
9. Săvescu, M. (coordonator) — *Tehnologia de fabricație a pieselor radioelectronice*. Ed. Tehnică, Buc. 1968
10. Lozncanu, S., Arpad Laczko — *Memoratorul radiotehnicianului*; Ed. Junimea, Iași 1985
11. Millea, A. — *Bobine radio*. Ed. Tehnică, Buc. 1962
12. Nicolau, Ed. (coordonator) — *Manualul inginerului electronist. Radiotehnică* (vol. I). Ed. Tehnică, Buc. 1987
13. Radu, Ov. — *Componente electronice pasive*. Ed. Tehnică, Buc. 1981
14. Ristea, I. ș.a. — *Manualul muncitorului electronist*. Ed. Tehnică, Buc. 1980
15. Smirenin, B. A. — *Manual de radiotehnică*. Ed. Energetică de Stat, Buc. 1954
16. *** — *Radiorecepția A—Z*. Ed. Albatros, Buc. 1982
17. *** — *Practica electronistului amator*. Ed. Albatros, Buc. 1984
18. *** — *Montaje electronice de vacanță*. Ed. Albatros, Buc. 1988
19. *** — *Rezistoare (catalog)*. I.P.E.E. — Curtea de Argeș, 1986
20. *** — *Condensatoare (catalog)*. I.P.E.E. — Curtea de Argeș, 1986
21. *** — *Potențiometre (catalog)*. I.P.E.E. — Curtea de Argeș, 1986
22. Croitoru, V.; Miroiu, C.; Sofron, E. ș. a. — *Electronica — îndrumar pentru lucrări practice*. Institutul Politehnic — București, 1987
23. Miroiu, C.; Olaru, V. — *Lucrări practice de componente și circuite electronice*. E.D.P., Buc. 1983
24. Miroiu, C. (coordonator) — *Seturi de diapoziții color: Rezistoare; Condensatoare; Bobine, circuite selective de cuplaj, filtre; Cablaje imprimate*.
25. Besson, René — *Technologie des composants électroniques Tome 3*. Editions Radio, Paris, 1986
26. I.C.S.I.T.E. — *Tehnologii de montaj a modulelor electronice analogice și digitale fără implantare. Montaj plan*. S.T., 1986
27. Colecție *Electronic Production*, 1985—1989
28. Svasla, P. (coordonator) — *Tehnologia subansamblor electronice; Interconectarea componentelor — îndrumar de laborator*. I.P.B., 1989
29. Svasla, P. (coordonator), Moraru, D. ș. a. — *Tehnologie electronică; componentă electronice pasive — îndrumar de laborator*. I.P.B., 1989